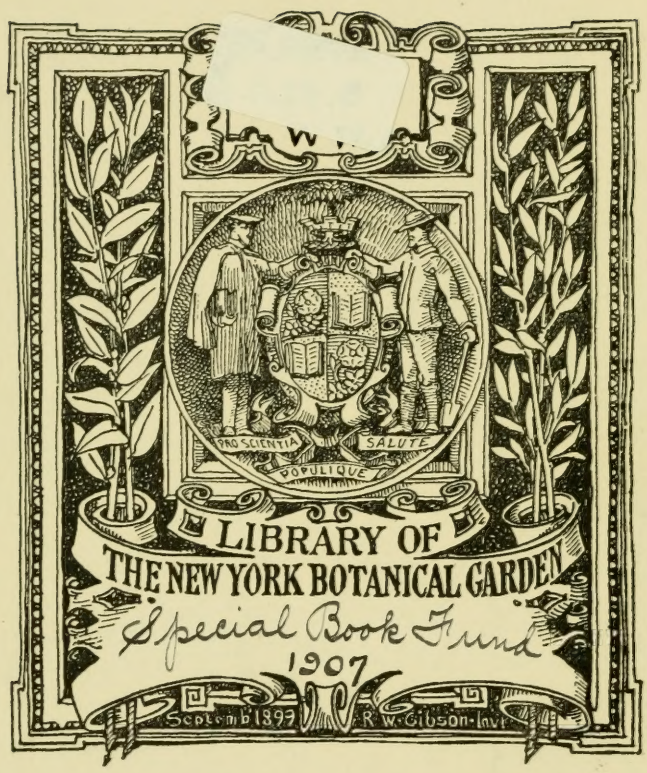

PRO SCIENTIA
SALUTE
POPULIQUE
LIBRARY OF
THE NEW YORK BOTANICAL GARDEN
Special Book Fund
1907
Septemb 1899
R.W. Gibson Invt

Pflanzenphysiologische

Studien im Walde.

Von

Max Wagner,

Königl. Oberförster.

Das Bestehende in seinem Werden zu erkennen, ist jetzt der oberste Grundsatz der Naturwissenschaft.

(C. Oppenheimer, Grundriß der organischen Chemie.)

Mit 2 Textabbildungen und 6 Tafeln.

BERLIN.

VERLAGSBUCHHANDLUNG PAUL PAREY.

Verlag für Landwirtschaft, Gartenbau und Forstwesen.

SW., Hedemannstrasse 10.

1907.

Pflanzenphysiologische Studien im Walde.

Von

Max Wagner,

Königl. Oberförster.

Das Bestehende in seinem Werden zu erkennen ist jetzt der oberste Grundsatz der Naturwissenschaft.

(C. Oppenheimer, Grundriß der organischen Chemie.)

Mit 2 Textabbildungen und 6 Tafeln.

LIBRARY
NEW YORK
BOTANICAL
GARDEN

BERLIN.
VERLAGSBUCHHANDLUNG PAUL PAREY.
Verlag für Landwirtschaft, Gartenbau und Forstwesen.
SW., Hedemannstrasse 10.
1907.

QK711
.W32

Alle Rechte — auch das der Übersetzung — vorbehalten.

Vorwort.

LIBRARY
NEW YORK
BOTANICAL
GARDEN

Die vorliegende Schrift verdankt ihr Entstehen den Anregungen, die ich durch das von mir verwaltete Revier erhielt. — Die Oberförsterei Jakobshagen, im Gebiete der Endmoränen gelegen, ist durch einen ungemein großen Wechsel der Bodenverhältnisse ausgezeichnet. Ihre einzelnen Teile sind auf einer großen Fläche zerstreut und haben der verschiedenen Höhenlage und Bodenausformung wegen recht verschiedenartige klimatische Verhältnisse.

Teils aus Furcht vor einem etwa eintretenden Holzmangel, teils aus persönlicher Liebhaberei haben frühere Revierverwalter alle möglichen Holzarten angebaut, so daß es auch in dieser Hinsicht an Studienobjekten nicht mangelte. — Der zum Teil günstige, zum Teil allerdings auch negative Erfolg der Anbauversuche, Holzartenmischungen, Läuterungen und Durchforstungen ließ in mir den Wunsch entstehen, die Ursachen der verschiedenartigen Erfolge zu finden. — Wenn nun dieser Wunsch auch nur zum kleinsten Teile in Erfüllung gegangen ist, so glaube ich doch, daß die Mitteilung der Methoden, nach denen ich gearbeitet habe, und der Ergebnisse meiner Studien manchem Fachgenossen nicht unwillkommen sein wird. Auch den Pflanzenphysiologen vom Fach wird vielleicht manches in dieser Schrift interessieren. Jedenfalls wird er aus ihr mit Genugtuung ersehen, daß die Ergebnisse seiner Forschungen sich sehr wohl aus der Studierstube und dem Laboratorium in den grünen Wald übertragen lassen, und daß diese Verpflanzung dem Walde nur zum Vorteile gereichen kann.

Von für mich maßgebender Seite wurde der Wunsch ausgesprochen, diese Schrift so abzufassen, daß zu ihrem Verständnis keinerlei physikalische und chemische Vorkenntnisse erforderlich

seien. — Die Erfüllung dieses Wunsches, den ich als berechtigt anerkennen mußte, hat mir die Arbeit ganz außerordentlich erschwert. Es mußte der Physik ein so breiter Raum gewährt werden, daß er zu dem eigentlichen physiologischen Teile nicht immer im richtigen Verhältnis steht. — Die Anordnung des Stoffes ergab sich, nachdem der Physik so große Zugeständnisse gemacht worden waren, eigentlich von selbst.

Wer aus dem Inhaltsverzeichnis den Schluß ziehen wollte, diese Schrift sei ein Hand- oder Lehrbuch, wird seine Erwartungen nicht erfüllt finden. — Wie schon der Titel sagt, habe ich mir nur vorgenommen, einzelne ausgewählte forstliche Fragen, die allerdings zu den brennendsten gehören, vom pflanzenphysiologischen Standpunkte aus zu behandeln.

Daß ich diese Studien überhaupt veröffentlichen konnte, verdanke ich dem Wohlwollen meiner vorgesetzten Behörden, des Herrn Ministers und der Königlichen Regierung in Stettin, die es mir ermöglichten, mich fünf Monate lang, gänzlich frei vom Dienst, meinen Studien zu widmen.

Zu großem Dank bin ich ferner verpflichtet Herrn R. Fueß in Steglitz, in dessen Werkstätten die optischen Instrumente gebaut worden sind, die ich bei meinen Untersuchungen benutzt habe, und Herrn C. Leiß in Steglitz, dem Leiter der optischen Abteilung der Fueßschen Werkstätten, der mich mit Rat und Tat bereitwilligst unterstützt hat.

Die von mir benutzte Literatur ist in einem besonderen Verzeichnis angegeben. Der, dem keine öffentliche Bibliothek zur Verfügung steht, und der sich deshalb die Bücher, die er braucht, aus eigenen Mitteln beschaffen muß, wird sich bei deren Auswahl naturgemäß von dem Grundsatze leiten lassen: Wenig, aber gut.

Aus den Schriften von Jost, Lommel, Mueller-Pouillet und Oppenheimer habe ich einzelne kürzere Abschnitte, die sich durch Präzision und Kürze des Ausdruckes besonders auszeichneten, fast wörtlich übernommen, worauf ich hier ausdrücklich aufmerksam mache.

Jakobshagen in Pommern, Juni 1907.

M. Wagner.

Inhalt.

Seite

Einleitung: Theorie und Praxis. Die Fortschritte der Forstwissenschaft und die forstliche Lehre. Forstliche Ausbildung, Fortbildung und Methoden der Forschung . . . . . 1—13

Erster Teil. Das Licht.

1. Die beiden Grundgesetze. Erhaltung der Energie und Materie . . . 14
2. Energiequelle und Wechsel. Einheit der Naturkräfte 15
3. Licht und Schatten 15
4. Lichtzerstreuung und zerstreute Zurückwerfung, deren Bedeutung für das Wachstum der Pflanzen. Im zerstreuten Licht und nicht im direkten Sonnenlichte findet das gröfste Wachstum statt. Orientierung der Zweige und Blätter nach dem diffus reflektierten Licht im Walde. Die Bedeutung der unterständigen Kronen als Lichtreflektoren. . . 17
5. Ausbreitung des Lichtes im Walde. Einfluſs der Baumhöhe und des Kronenabstandes. 19
6. Das Wesen des Lichtes. Prinzip der Elementarwellen 20
7. Erleuchtungsstärke. 21
8. Helligkeit 21
9. Absolute Helligkeit. 21
10. Indizierte Helligkeit 21
11. Das Messen des Lichtes. Allgemeines. Photographische Methode und deren Mängel 22
12. Das Rauchglasphotometer und dessen Anwendung 23
13. Das Polarisationsphotometer und seine Anwendung. Notwendigkeit der Lichtmessungen. Unzulänglichkeit der bisherigen Durchforstungsversuche für die Ermittlung der günstigsten Lichtstellung. Bedeutung der sozialen Verhältnisse unter den Waldbäumen. Die Unentbehrlichkeit der unterdrückten Stämme 25
14. Die Qualität des Lichtes. Farbenzerstreuung und Brechung. Spektrum und Spektralanalyse. Die Absorption von Licht verschiedener Qualität durch die Pflanzen von verschiedener Art und auf verschiedenen Standorten ergibt sich aus dem Gesetz der Erhaltung der Energie 32
15. Wellenlänge und Schwingungszahlen. Bezeichnung des Lichtes verschiedener Qualität nach seiner Wellenlänge 33

Seite

16. Beziehungen zwischen Schwingungszahl und Farbenempfindung. Unzuverlässigkeit des menschlichen Auges. Lichtstrahlen mit verschiedenen Schwingungszahlen müssen auch verschiedene chemische und physikalische Wirkungen haben. Beziehungen zwischen der stärkeren Brechbarkeit der Lichtstrahlen, der Farbenzerstreuung und Wellenlänge. Die Spektralanalyse als Mittel, die Lichtabsorption im Pflanzenblatt festzustellen 34

17. Bisherige Versuche, die Absorption des Lichtes durch die Pflanzen zu ermitteln. Verschiedene Wirkung der Absorption des Lichtes: Chemische Zersetzung, Wärme, Fluoreszenz. Warum die Pflanzen grüne Blätter haben. Fluoreszenzbeweise dafür, dafs die Pflanzen nur rote Lichtstrahlen absorbieren 36

18. Ein neues Spektrometer zur Bestimmung des Lichtverbrauches im lebenden Pflanzenblatt. Helligkeit der verschiedenen Farben im Spektrum, Purkinjesches Phänomen. Das Arbeiten mit dem Spektrometer. Im Pflanzenblatt ist nur eine Absorption im Rot zu sehen. Anwendung der Plasmolyse bei der Untersuchung sehr dicker Blätter oder bei schwachem Licht. Längenskala für die Lichtwellen, deren Konstruktion 42

19. Ergebnisse der spektrometrischen Messungen. Die Breite des Absorptionsstreifens steht im direkten Verhältnis zur Massenerzeugung. Jedes Pflanzenblatt trägt seine Massentafel in sich. Einfluss der Bodenfrische und der Zufuhr assimilierbarer Nährstoffe auf die Breite des Absorptionsstreifens. Wichtigkeit der langwelligeren Lichtstrahlen. Es gibt nur Lichtholzarten, aber die Fähigkeit, das Licht zu absorbieren, ist nach Holzart und Standort verschieden. Die Spektralanalyse als Hilfsmittel zur Bestimmung der Bodengüte und des Einflusses wirtschaftlicher Mafsregeln. Gesetz des Minimums. Spektralanalyse an Stelle der Aschenanalyse. Nachteile zu starker Kalidüngung. Untersuchungen bei künstlichem Licht 50

20. Messungen der Stärke der Absorption. Handspektrophotometer, dessen Beschreibung und Gebrauch. Die dicksten Blätter haben nicht immer die stärkste Absorption 55

21. Umwandlung des Lichtes in chemische Energie. Elektrolytische Dissoziation. Ionenwirkungen. Beziehungen zwischen dem zirkular polarisierten Licht, der Absorption und den Ionen im Pflanzenblatt. Photolyse 58

22. Anomale Dispersion im grünen Pflanzenblatt. 60

23. Nur die dissoziierende Kohlensäure und nicht das fälschlich so genannte Kohlendioxyd der Luft kann im grünen Pflanzenblatt durch das Licht zerlegt werden. 61

24. Die Zersetzung der Kohlensäure ein sekundärer Vorgang. Die Photolyse eines Eisensalzes im Blattgrün der primäre, die Photosynthese der Assimilationsprodukte der sekundäre Vorgang. Liesegangs Hypothese. Das oxalsaure Eisenoxydkalium und Natrium, ihre chemischen und optischen Eigenschaften. Die Assimilation kein rein chemisch-physikalischer Vorgang 62

Seite

25. Berechnung des zur Holz-, Borke- usw. Produktion erforderlichen Energieaufwandes. Energieverschwendung in der Forstwirtschaft . 64
26. Zweckmäfsigkeit der langwelligen Lichtstrahlen für die Photolyse. Bakterientötende Wirkung kurzwelliger Lichtstrahlen durch Bildung von Ozon und Wasserstoffsuperoxyd 66
27. Zu viel Licht schadet den Pflanzen. Die kurzwelligen Lichtstrahlen wirken wachstumshemmend. Etiolement und seine Bedeutung für das Höhenwachstum der Bäume. Beziehungen zwischen Lichtintensität und Gröfse der Blätter. Starkes Licht hemmt die katalytische Wirkung der Diastase im Pflanzenblatt; Bedeutung dieses Vorganges 67
28. Formative Eigenschaften verschiedener Lichtstrahlen. Die kurzwelligen Lichtstrahlen eine Vorbedingung für den Formenreichtum in der Pflanzenwelt. Das ultraviolette Licht hat keinen besonderen Einfluls auf die Ausgestaltung der Pflanzen 69
29. Schatten und Halbschatten im Walde. Falsche Begriffsbestimmungen. Physiologische Bedeutung des zerstreuten Lichtes 70
30. Lichtreiz, seine Perzeption und Leitung. Reaktion auf ihn. Einem Baume kann man durch Freihiebe nie einseitig helfen. Optimale Helligkeit. Krümmungen der Fichten- und Tannennadeln im direkten Sonnenlicht. Die fixe Lichtlage der Blätter wird durch das stärkste diffuse Licht bestimmt. Die Wuchsform als eine Folge heliotropischer Krümmungen 71
31. Wasserreiserbildung eine Folge der kurzwelligen Strahlen. Die Korrelationen des Wachstums bedingen die ganze Ausbildung der Gestalt der Pflanze 73
32. Änderungen im anatomischen Bau der Laubblätter infolge verschiedener Lichtverhältnisse. Sonnenblätter haben zwei und mehr Pallisadenreihen, einfache Lichtblätter in der Regel nur eine, die von Wasserreisern gar keine. Schwammgewebe und Interzellularen in verschiedenen Blättern. Bedeutung dieser Anpassungsformen. Profil- und Flächenstellung der Blattgrünkörner nach der Lichtintensität . 73
33. Die Umformung aus der einfachen Lichtform der Blätter in die Sonnenform dauert mehrere Jahre 75
34. Nutzanwendungen für die Praxis. Durchforstungen. Unentbehrlichkeit der unterdrückten Stämme 76
35. Eine gewisse Lichtintensität ist eine Bedingung, nicht der auslösende Reiz für die Blütenbildung. Die Abnahme der Nährstoffe als Reiz zur Bildung der Fortpflanzungsorgane. Gegensatz zwischen Wachstum und Fortpflanzung. Nutzanwendung für den Vorbereitungsschlag. Durchforstungen, nach denen ein Samentragen des Bestandes eintritt, sind falsch 78
36. Qualitative Lichtmessungen im Walde 80
37. Warum es unter einem einzeln stehenden Baume nicht gut wächst. Der überschätzte Einfluls der Wurzelkonkurrenz 81
38. Elektrische Ströme in Pflanzen. Die Elektrizität ist an der Assimilation nicht beteiligt 82

Zweiter Teil. Wärme, Gase und Flüssigkeiten.

Seite

39. Die Wärme. Allgemeines. Subjektive Unterschiede zwischen Licht und Wärme. Die ersten Pflanzen auf der Erde haben wahrscheinlich mit dunklen Strahlen assimiliert. Temperatur und Wärme . . 84
40. Die Wärme als Bewegungsenergie. Mechanisches Äquivalent der Wärme. Ausdehnung und Schmelzen nach der mechanischen Wärmetheorie 85
41. Bedeutung der Schmelzwärme des Eises für die Bodenwärme. Ausdehnung des gefrierenden Wassers. Erfrieren der Pflanzen. Auffrieren und Verwitterung des Bodens. Wichtigkeit der Bodenbearbeitung im Herbste 87
42. Das Verdampfen nach der mechanischen Wärmetheorie 89
43. Verdunstung. Bedeutung der Pflanzenhaare 89
44. Absolute und relative Luftfeuchtigkeit. Taupunkt 90
45. Einfluſs der relativen Luftfeuchtigkeit auf das Gedeihen der Holzpflanzen. Zu trockene Luft tötet die Lärche und nicht der Pilz. Das Auftreten parasitärer Pilze im Walde ein Zeichen wirtschaftlicher Fehler. Hohe Darrtemperaturen eine Ursache der Schütte. Die Cuticula als Schutz gegen zu starke Verdunstung. Dicke der Cuticula einzelner Holzarten. Schlüsse aus diesen Zahlen. Auch im Gebirge stirbt die Lärche auf einzelnen Standorten. Notwendigkeit neuer meteorologischer Beobachtungen. Abhängigkeit der relativen Luftfeuchtigkeit von der Temperatur an zwei Beispielen klargelegt. Wo man die Lärche anbauen kann. Die theoretischen Erwägungen stimmen mit Pfeils Beobachtungen überein. Erklärung des auffallenden Verhaltens der Lärche in ihrer Jugend. Wasserverdunstungsmengen der Baumblätter. Unter den Baumkronen ist die Luft trockener als über diesen und am Erdboden. Beobachtungsergebnisse 90
46. Beziehungen zwischen Wärme und Luftfeuchtigkeit in Frostlagen. Die Verdunstungskälte nach der mechanischen Wärmetheorie. Wie entstehen die Frostlöcher? Ein Beispiel aus der Praxis 99
47. Wie man die Frostgefahr vermindert. Beispiele aus der Praxis . . 102
48. Osmose und Diffusion. Ihre Beziehungen zur Wärme. Semipermeable Membranen. Osmotischer Druck 103
49. Bedeutung der Osmose und Diffusion für das Leben der Bäume. Aufnahme von Wasser und Nährstoffen aus dem Boden. Besondere Fähigkeit der Kiefer zur Ausnutzung der Bodenfeuchtigkeit. Wasserleitung und Wasserspeicherung im Stamm 106
50. Die Transpiration als Ursache der Wasserbewegung und Nährstoffzufuhr. Ihre Regulierung durch Spaltöffnungen und Schliefszellen. Regulierung des osmotischen Druckes 109
51. Die Atmung der Pflanzen und deren Zweck. Luftbedürfnis des Waldes 110
52. Lösung der Stärke durch Oxalsäure. Oxalsäure und Kalk. Alle Holzarten mit breiten Markstrahlen sind kalkliebend 111

Seite

53. Kapillare Attraktion. Allgemeines. Bedeutung für das Saftsteigen 112
54. Schutz gegen zu starke Transpiration. Einfluſs der Säuren und Alkalien im Boden. Erle auf sauren Brüchern. Die Wachstumsgeschwindigkeit und endliche Gröſse eines jeden Pflanzenorganes hängt von seinem Wassergehalt ab. Bedeutung der Bodenfrische 113
55. Bedeutung der kapillaren Attraktion im Boden. Wasserkapazität verschiedener Bodenarten. Kapillare Steighöhe des Wassers im Boden. Warnung vor falschen Schlüssen. Entwässerungen. Einfluſs des Humus und der Bodenlockerungen 115
56. Warum saure Pflanzen schwerer erfrieren 117
57. Sauerstoffbedarf der Wurzeln. Verschiedenes Verhalten der im Wasser wachsenden Erlen 117
58. Kohlensäure und Humus. Die Pflanzen nehmen den gröfsten Teil der Kohlensäure aus dem Boden und nicht aus der Luft. In der Luft ist keine Kohlensäure, sondern nur Kohlendioxyd, das nicht dissoziiert. Aufnahmestörungen durch Schliefsen der Spaltöffnungen. Verfehlte Experimente. Ausströmungsgeschwindigkeiten der Gase 118
59. Nach der kinetischen Theorie der Gase kann nicht genügend Kohlendioxyd durch die Spaltöffnungen einströmen. Verfehlte Experimente. Wasserpflanzen. Die Fähigkeit der Pflanzen, die Kohlensäure aus dem Wasser zu entnehmen, ist eine ursprüngliche 122
60. Gehalt des Bodens an Kohlendioxyd, der Wurzelspitzen an Kohlensäure. Chemischer Nachweis der Kohlensäure in Pflanzensäften. Kalkwasser und Kongorot. Die Jaminschen Ketten bestehen aus Kohlensäure und Wasser 124
61. Schutz der Bäume gegen Gasverluste. Dichte Rinde, Borke, tiefe Beastung. Beziehungen zwischen Borkebildung und Lichtstand. Wirkung der Freistellung. Wie sich die Borkenkäfer gegen Kohlensäurevergiftung schützen. 125
62. Beziehungen zwischen Borke- und Wurzelbildung und Entnahme der Kohlensäure aus dem Boden. Alle Tiefwurzler haben starke Borke 127
63. Warum immergrüne Bäume im Winter nicht assimilieren. Abhängigkeit der Wasserbewegungsgeschwindigkeit im Protoplasma von der Temperatur. 128
64. Luft- und Bodentemperaturen in einem Kiefern-, Fichten- und Buchenbestande, verglichen mit den Temperaturen im Freien. Schlüsse hieraus für die Praxis, besonders bezüglich der Holzartenmischung. Einfluſs des Unterholzes und Schirmbestandes. . . 129
65. Tatsachen, die dafür sprechen, dafs die Pflanzen die Kohlensäure durch die Wurzeln aufnehmen. Wasserkulturen, Topfpflanzen, Kompost, Rohhumus bei Kulturen, Lichtschütte 136

Dritter Teil. Boden und Nährstoffe.

66. Humusformen. Unklare Begriffe. Die Humusfrage ist kein chemisches oder physikalisches, sondern ein physiologisches Problem. Einige chemische und physikalische Eigenschaften des Humus . . . 140

Seite

67. Wie der Humus entsteht. Ab- und Umbau der Pflanzenreste und deren Notwendigkeit. Metabiose und deren Bedeutung. Mittel der niederen Pflanzen zum Abbau: Enzyme, Gärung. Schimmelpilze und Bakterien. Omelanskis Forschungsergebnisse. Zellulosebakterien der Wasserstoff- und Methangärung. Eiweifsgärung. . . 142
68. Äufsere Bedingungen eines vollständigen Abbaues des Humus. Saurer und neutraler Humus. Unter welchen Umständen saurer Humus entsteht. Unfähigkeit der Fadenpilze, einen vollständigen Abbau zu bewirken. Höhere Pflanzen leiden in pilzreichem Boden unter Mangel an Aschensubstanzen. Bedingungen für das Gedeihen der Schimmelpilze und Bakterien. Empfindlichkeit der Bakterien gegen kurzwelliges Licht. Aërobionten und Anaërobionten. Verwesung und Fäulnis 144
69. Bedeutung der Lebensbedingungen der Humusgärungspilze für die forstliche Praxis. Moorbildung. Lichtung. Aushagernde Winde. Windmantel. Die grobe Arbeit der Zerkleinerung und Bodendurchmengung durch Tiere. Arbeiten auf dem Gebiete der Gärungsphysiologie. Deren Aussichten 146
70. Die Umwandlung des Stickstoffes in assimilierbare Formen. Fast aller gebundener Stickstoff ist organischen Ursprungs. Stickstoffmengen, die durch elektrische Entladungen entstehen. Stickstoffgewinn aus dem Ammoniak der Luft. Die drei Möglichkeiten der Stickstoffaufnahme durch die grüne Pflanze. Gehalt unkultivierter Böden an Ammoniakstickstoff. In unkultivierten Böden geht der Stickstoffgehalt zurück, deshalb baldige Aufforstung 148
71. Verschiedenes Bedürfnis der Pflanzen bezüglich der Bindung des Stickstoffes. Ammoniak, Nitrate und Nitrite 151
72. Sulfo- und Nitrobakterien. Winogradskis Forschungen. Lebensbedingungen der Nitrit- und Nitratbakterien. Deren Bedeutung für den Wald. Warum Streuentfernung vorübergehend wachstumsfördernd wirken kann. Bedeutung der Nitrifikation für die Verwitterung 151
73. Bindung des Luftstickstoffes. Winogradskis Forschungen. Clostridium Pasteurianum, dessen Symbiose in der Zooglöa 154
74. Wie man die Stickstoffbindung im Walde befördern kann. Optimale Helligkeit für die Zooglöa. Tätige und untätige Böden. Verfehlte Versuche, die Stickstoffbindung im Boden festzustellen. Bedeutung des Unterholzes und der unterdrückten Stämme für die Stickstoffbindung. Der Humusabbau und die Stickstoffbindung an einigen Fällen aus der Praxis erläutert. Naturverjüngung und Kahlschlag. Warum die Samenjahre jetzt seltener sind. Humus- und Stickstofffragen sind ausgesprochene Lichtfragen. Alinit und seine Wirkungslosigkeit 155
75. Stickstoffbindung durch Bakterium radicola. Bakteriengallen oder Wurzelknöllchen. Bakteroiden. Die verschiedenen Leguminosen leben nur mit spezifischen Bakterien in Symbiose. Folgerungen hieraus für die Praxis. Die Stickstoffbindung findet auch in den Knöllchen der

Seite

Erlen statt. Wichtigkeit des Vorhandenseins der spezifischen Bakterien in Erlenkämpen. Die bodenverbessernde Eigenschaft der Weißerle eine Folge der Stickstoffbindung. Die Rolle der Weißerle als Füll- und Treibholz und Hilfsholz bei Aufforstungen 161

76. Ektrotrophe Mykorhiza. Deren zweifelhafte Bedeutung. Eingesprengte Eichen im Kiefernbestande 164

77. Mineralboden. Bedingungen der Fruchtbarkeit. Gründigkeit, Struktur, Frische, Wärme 165

78. Ursachen der Unfruchtbarkeit. Humussäuren, Ortstein, schwefelsaures Eisenoxydul, Schwefeleisen. Aschenanalysen sind keine geeigneten Mittel festzustellen, wieviel von den einzelnen Nährstoffen die Pflanzen brauchen. Die sechs unentbehrlichen Elemente. . . . 167

79. Bedeutung der einzelnen Pflanzennährstoffe, und in welcher Form sie assimilierbar sind. Zuviel Kalk im Boden hindert die Aufnahme von Kali, Magnesium und Eisen. Die Besenpfrieme kalkfeindlich . 169

80. Warum mit Kupferkalkbrühe bespritzte Pflanzen besser wachsen . 171

81. Bedeutung des Siliziums und Aluminiums. Warum Tonböden in der Regel besser sind. Der Gehalt an Tonerde der Böden wird in der Regel überschätzt. Wasserkapazität des Tonbodens. Bodenabsorption. Einfluß der Bodenlockerung. Auf humusfreien Sandböden ist der künstliche Dünger zwecklos. Weitere Folgerungen für die Praxis. 172

82. Nachteile zu starker Kalidüngung. Osmotische Drucke. Das Kalium verdrängt ausnahmslos alle Metalle aus ihren Salzen. Verdrängungsreihenfolge der Metalle. Kali macht den Boden kalkarm. Umgekehrter Austausch bei der Verwitterung. Günstige Wirkung der Doppelsilikate und Humussubstanzen 174

83. Gesetz des Minimums. Die Spektralanalyse als Mittel zur Bestimmung des Nährstoffbedarfes der Kulturpflanzen . . . . . 176—177

Tafeln.

Tafel I. Helligkeitswerte für das Polarisationsphotometer.

Tafel II. Beispiel einer graphischen Wellenlängenskala für das Spektrometer.

Tafel III. Absorptionsspektra einiger Holzarten auf verschiedenen Böden.

Tafel IV. Mikrophotogramme zweier senkrechter Schnitte durch Stieleichenblätter. Fig. 1 a und b aus direktem Sonnenlicht.

Tafel V. Schnitte wie auf Tafel IV. Fig. 2 aus starkem, Fig. 3 aus schwächerem zerstreutem Lichte.

Tafel VI. Schnitte wie auf Tafel IV, Fig. 4 von dem Blatt eines Wasserreises. Fig. 5 von einer Eiche, die länger in starkem Druck gestanden hatte und seit drei Jahren in der Sonne stand.

Nachweis der benutzten Literatur.

Grandeau, Handbuch für agrikulturchemische Analysen. Berlin. 1884.

Jost, Vorlesungen über Pflanzenphysiologie. Jena. 1904.

Von Lommel, Lehrbuch der Experimentalphysik. Leipzig. 1904.

Leiß, Die optischen Instrumente der Firma R. Fueß. Leipzig. 1899.

Liesegang, Photochemische Studien, Heft I. Düsseldorf. 1894.

— — Heft II. Düsseldorf. 1895.

Luerßen, Grundzüge der Botanik. Leipzig. 1885.

— Forstbotanik. Separatabdruck aus dem Handbuch der Forstwissenschaft von T. Lorey. Tübingen. 1888.

Mohn, Grundzüge der Meteorologie. Berlin. 1898.

Muettrich, Jahresberichte über die Beobachtungsergebnisse der forstlich-meteorologischen Stationen. Berlin. 1875—1897.

Mueller-Pouillet, Lehrbuch der Physik und Meteorologie, Band II. Braunschweig. 1895.

Naegeli u. Schwendener, Das Mikroskop. Leipzig. 1877.

Oppenheimer, Grundriß der anorganischen Chemie. Leipzig. 1904.

— Grundriß der organischen Chemie. Leipzig. 1905.

Pfeil, Kritische Blätter für Forst- und Jagdwissenschaft, Band 14. Leipzig. 1840.

— — Band 24. Leipzig. 1847.

— — Band 26. Leipzig. 1848.

— — Band 27. Leipzig. 1849.

— — Band 30. Leipzig. 1851.

— — Band 37. Leipzig. 1856.

— — Band 39. Leipzig. 1857.

— — Band 40. Leipzig. 1858.

Sonnenschein, Handbuch der analytischen Chemie. Berlin. 1870.

Außerdem verschiedene Zeitschriften, die im Texte erwähnt sind.

Einleitung.

Theorie und Praxis.

„Fraget die Bäume, wie sie erzogen sein wollen, sie werden euch besser darüber belehren, als die Bücher es tun."

Als Pfeil diese Worte schrieb, die es wert sind, mit goldenen Buchstaben in der Geschichte der Forstwissenschaft verzeichnet zu werden, ahnte er wohl nicht, daß sie so falsch verstanden und gedeutet werden könnten, wie es wirklich geschehen ist. — „Die sogenannten Praktiker, die alten Geschäftsmänner", wie sie Pfeil treffend nennt, glaubten aus ihnen die Berechtigung herleiten zu dürfen, die Wissenschaft als toten, wertlosen Ballast zu betrachten, und die Männer der Wissenschaft, von denen Pfeil verlangte, sie sollten das tote Wissen in ein lebendiges verwandeln, die Wissenschaft praktischer machen, suchten sich mit ihm dadurch abzufinden, daß sie ihm eine gründliche wissenschaftliche Bildung absprachen, ihn als einen Autodidakten erklärten, was nach ihrer Auffassung mit einem Ignoranten gleichbedeutend war.

Weder die Praktiker noch die Theoretiker der eben bezeichneten Art haben Pfeil richtig verstanden, und man muß annehmen, daß sie wenig oder nichts von seinen Schriften gelesen haben, sonst würde ihr Urteil gerechter sein. — Pfeil hat in seinen „Kritischen Blättern", die noch jetzt als eine wahre Fundgrube des forstlichen Wissens gelten können, so oft und so unzweideutig seine Auffassung über das Verhältnis zwischen Theorie und Praxis und die Unentbehrlichkeit der ersteren für die letztere zum Ausdruck gebracht, daß er eigentlich nicht falsch verstanden werden konnte. — Er bezeichnet es „als eine ganz alte, längst als verwerflich erkannte Idee, daß Theorie und Praxis zwei verschiedene Dinge sind", und sagt an einer anderen Stelle wörtlich:

„Es soll nicht etwa die Behauptung aufgestellt werden, daß die Wissenschaft gar keinen Wert für die Praxis hätte, daß eine Empirie genüge und man nur nötig habe, ein Verfahren, das sich bewährt hat, mechanisch einzuüben, um es unverändert auf gleiche Verhältnisse anzuwenden. Im Gegenteil soll hier dargetan werden, daß eine wissenschaftliche Bildung des Forstmannes ihn allein in den Stand setzt, nicht bloß mit den gemachten Erfahrungen bekannt zu werden, sondern sie auch zweckmäßig anzuwenden und nötigenfalls nach den verschiedenen Verhältnissen modifizieren zu können."

„Man muß Ursache und Wirkung genau zu erkennen vermögen, wenn man von einem gleichen Verfahren denselben Erfolg erwarten will; dazu bedarf es aber einer genauen Übersicht des gesamten Zusammenhanges, in dem beide stehen, zu der eine gute wissenschaftliche Ausbildung ganz unentbehrlich ist."

Auch heute noch werden Theorie und Praxis in der Forstwirtschaft einander mit Vorliebe gegenübergestellt, und doch gibt es gar keinen solchen Gegensatz zwischen ihnen, daß in der einen etwas als richtig erscheinen könnte, was in der anderen falsch ist. — Unter Praxis überhaupt versteht man jedes Handeln für einen bestimmten Zweck; ein zufälliges und bewußtloses Handeln würde diesen Namen kaum verdienen. Deshalb steht jede Praxis in einem Verhältnis zu einer mehr oder weniger ausgebildeten Theorie, d. h. zu einem Wissen über die Zwecke und Mittel zu ihrer Erreichung. Eine Praxis, die sich um gar keine Theorie kümmern wollte, würde in ihrer Ratlosigkeit häufig zu einem bloßen Herumtappen werden. Alle empirischen Wissenschaften streben, sobald sie über die Gründe und den Zusammenhang der Erscheinungen zu reflektieren anfangen, nach Ausbildung genügender Theorien. Diese bleiben, wo es nicht gelingt, sie aus dem Gegebenen mit Notwendigkeit abzuleiten, mehr oder weniger Hypothesen, die durch neue Erfahrungen widerlegt werden können. Ein Praktiker im wahren Sinne ist nicht der, der durch bloße Übung und Gewandtheit gelernt hat, gewisse Zwecke zu erreichen, sondern nur der, der die Fertigkeit der Anwendung mit der theoretischen Erkenntnis verbindet.

Theorie im Gegensatz zur Praxis bezeichnet die bloße Erkenntnis ohne die Absicht, sie auf bestimmte Zwecke anzuwenden, und gegen diese Art von Theoretikern trat Pfeil mit aller Schärfe auf. Die damalige Forstwissenschaft sollte praktischer werden,

und dazu gab es nach seiner Ansicht nur einen Weg, nämlich den, daß die Wissenschaftsmänner sich mehr mit der Praxis beschäftigten, um den Praktikern zeigen zu können, wie man die Wissenschaft in der Praxis anwendet; „denn unsere ganze Forstwissenschaft ist nur ein Produkt der Erfahrungen, die man hinsichtlich der zweckmäßigsten Art und Weise, das Holz zu erziehen und den Wald nachhaltig zu nutzen, gemacht hat. Selbst eine neu aufzustellende Theorie kann nur auf die bisher gemachten Erfahrungen begründet werden, wenn sie Hoffnung haben will, daß sie sich als brauchbar für die Praxis bewähren soll." — Eine Theorie braucht aber deshalb noch nicht falsch zu sein, wenn sie in der Praxis nicht ausreicht, sie kann noch unvollständig sein, oder es fehlt vielleicht an den äußeren Bedingungen, von denen ihre Anwendbarkeit abhängt. Im allgemeinen wird die Vergleichung mit der Erfahrung der Prüfstein jeder Theorie sein, denn Erfahrung ist doch nur die Summe von Kenntnissen, die sich auf Wahrnehmung von Tatsachen gründen; jede einzelne Erkenntnis dieser Art heißt eine Erfahrung, d. h. es muß das Bewußtsein über das hinzukommen, was man erfährt.

Man bemängelt an Pfeil, daß ihm eine gründliche allgemeine Bildung fehlte. Ein anderer Historiker spricht sich noch etwas deutlicher aus, er sagt:

„Wenn Pfeil eine gute mathematische und naturwissenschaftliche Grundlage gehabt hätte, die ihm leider abging, so würde er vielleicht der bedeutendste Forstmann geworden sein." — Lassen wir Pfeil selbst aussprechen, wie er über die Naturwissenschaften und die Mathematik dachte: „Man kann nicht eine Stunde im Walde sein, ohne nicht seine Unwissenheit bemerkbar zu machen, wenn man nichts von den Naturwissenschaften versteht, und es gibt keine Maßregel im Waldbau, die nicht zuletzt durch sie rationell begründet werden müßte. Lassen wir der Mathematik ihr volles Recht widerfahren und fordern nur von dem Forstmanne, daß er so weit im Besitze mathematischer Kenntnisse sei, als es zur Lösung praktischer Aufgaben erforderlich ist; aber vermeiden wir den mathematischen Luxus, solange wir oft in der naturwissenschaftlichen Bildung der Forstmänner den allergrößten Mangel finden, um erst hier das Nötige zu gewähren, bevor wir dort an das Überflüssige denken.

Die Fortschritte in der Forstwissenschaft und die forstliche Lehre. — Wenn Pfeil eine gute naturwissen-

schaftliche und überhaupt eine gründliche allgemeine Bildung abgesprochen wird, so kann man die, die das tun, nur fragen, ob sie sich ebenso befähigt halten, wie Pfeil es war, die neuerschienenen Bücher auf dem Gebiete der Physik, Meteorologie, Chemie, Bodenkunde, Mineralogie, Botanik usw. zu verstehen und zu rezensieren. Man wird es ihnen nicht verübeln, wenn sie die Bescheidenheit besitzen, zuzugestehen, daß ihnen die Fähigkeit hierzu abgehe: die Zeiten haben sich eben geändert. — Alexander von Humboldt gilt als der letzte universale Geist, der noch das gesamte Gebiet der Naturwissenschaften seiner Zeit beherrschte; heutzutage ist dies nicht mehr möglich, auch die scharfsinnigsten und ausdauerndsten Forscher sehen sich genötigt, sich auf gewisse Zweige und Abschnitte zu beschränken. von Humboldt und Pfeil konnten das gesamte Gebiet der Naturwissenschaften noch beherrschen, weil es noch nicht so umfangreich war, wie heut, wo selbst Naturforscher von der Universalität eines Virchow bekennen mußten, daß sie nur Stücke von der Naturwissenschaft besitzen, und daß keiner von ihnen mit gleicher Berechtigung jede Disziplin vertreten könne.

Wer jemand richtig beurteilen will, muß die Verhältnisse berücksichtigen, unter denen er gelebt hat. — Pfeil hielt vom Mikroskop nicht eben viel. Wer aber nur einige Kenntnisse von der Lehre der mikroskopischen Abbildung besitzt und sich über die Bedeutung des Anastigmatismus und der numerischen Apertur klar geworden ist, was man doch von jedem verlangen muß, der mit dem Mikroskop wissenschaftlich arbeiten will, der wird dies Pfeil nicht sehr verdenken; denn die Instrumente seiner Zeit zeigten noch Bilder, bei denen die Ähnlichkeit äußerst gering war. Was konnte ferner der Forstmann der damaligen Zeit mit der Chemie anfangen, was mit der Physik und selbst der Botanik? Noch im Jahre 1838 stellte die Göttinger Akademie die Preisaufgabe: „Ob die sog. unorganischen Elemente, welche in der Asche der Pflanze gefunden werden, auch dann in den Pflanzen sich finden, wenn sie denselben von außen nicht geboten werden." — Seien wir also bescheiden und untersuchen wir lieber, welche Fortschritte die Forstwissenschaft seit Pfeil gemacht hat. Naturwissenschaften und Technik haben sich seitdem zu ungeahnter Höhe entwickelt; welchen Nutzen haben wir aus ihren Fortschritten gezogen? Die Antwort auf diese Frage bitte ich mir zu erlassen, es ist ja bekannt genug, daß auf dem wichtigsten

Gebiete der Forstwissenschaft, dem Waldbau, noch wenig so sicher fundiert ist, daß es auf die Bezeichnung „wissenschaftliche Lehre" Anspruch machen kann. Denn schon Pfeil betonte, daß die Wissenschaft als Grundsatz annehme, daß jede Ansicht, um in der Lehre als wahr zu gelten, bewiesen werden müsse, und daß diese Beweise mit unwiderstehlichen Wahrheiten übereinstimmen müssen. 20 Jahre später war es Virchow, der darauf aufmerksam machte, „wie groß der Unterschied desjenigen ist, das wir als wirkliche Wissenschaft im strengsten Sinne des Wortes ausgeben und für das allein wir die Freiheit der wissenschaftlichen Lehre fordern können, im Gegensatz zu demjenigen größeren Gebiete, das mehr der spekulativen Expansion angehört, das die Probleme stellt, die Aufgaben findet, auf die die neue Forschung sich richten soll, das vorahnend eine Reihe von Lehrsätzen formuliert, die erst zu beweisen sind und deren Tatsächlichkeit erst gefunden werden soll, die jedoch inzwischen zur Ausfüllung gewisser Lücken des Wissens mit einer gewissen Wahrscheinlichkeit vorgetragen werden können. Die Grenze aber zwischen dem spekulativen Gebiete und dem tatsächlich errungenen und vollständig festgestellten müsse mit einer solchen Schärfe fixiert werden, daß jeder einzelne sich immer mehr bewußt werde, inwieweit von ihm gefordert werden könne, daß er zugestehe, das Gelehrte sei Wahrheit. Dies sei die Aufgabe, an der jeder in sich zu arbeiten habe. Denn wenn eine Doktrin, die als sicher, begründet, zuverlässig, als auf die Allgemeingültigkeit Anspruch machend dargestellt wird, sich in ihren Grundzügen als fehlerhaft erweist, oder in wesentlichen großen Richtungen als willkürlich und despotisch empfunden wird, dann verliere eine große Menge von Menschen den Glauben an die Wissenschaft. Deshalb müsse jeder Forscher sich über die Grenze seines Wissens und Nichtwissens vollständig klar sein und er müsse seine Ansprüche darauf beschränken, zu verlangen, daß das, was er als zuverlässige und allen gemeinsame Wahrheit bezeichnen kann, in die allgemeine Lehre aufgenommen werde." — Es muß natürlich jedem einzelnen überlassen bleiben, zu prüfen, inwieweit er diesen Virchowschen Forderungen gerecht geworden ist; ich glaube aber dem Empfinden einer großen Anzahl in der Praxis stehender Forstmänner Ausdruck zu geben, wenn ich behaupte, daß auch in der Forstwissenschaft viele Lehren als despotisch und willkürlich empfunden werden. Die dogmatische Richtung herrscht hier eben noch viel zu sehr

über die objektive, die die sicheren Tatsachen in sich aufnimmt mit dem vollen Bewußtsein der Beweise, die den Versuch als höchstes Beweismittel festhält. —

Woher kommt es nun, daß die Forstwissenschaft seit Pfeils Zeiten nur geringe Fortschritte gemacht hat, während alle anderen Wissenschaften zum Teil sogar sprungweise vorwärts gekommen sind?

Unter allen Wissenschaften ist die Medizin die einzige, die in kontinuierlicher Weise eine Geschichte von über dreitausend Jahren hat. Sie ist wie Forstwissenschaft eine angewandte, und beide haben die meisten Grundwissenschaften gemeinsam. Sie ist auch ein Gebiet, auf dem man es verstanden hat, sich so ziemlich alle Errungenschaften der Naturwissenschaften und Technik nutzbar zu machen. Von ihr können wir deshalb sicher lernen.

Forstliche Ausbildung, Fortbildung und Methoden der Forschung. — Dreierlei verdanken die Mediziner die Fortschritte in ihrer Wissenschaft: ihrer Ausbildung, ihrer Fortbildung und den Methoden ihrer Forschung. Der Mediziner studiert nicht medizinische Chemie, nicht medizinische Botanik usw., sondern er studiert Chemie, Physik, Botanik. Deshalb ist er auch befähigt, alle neuen Entdeckungen und Erfindungen daraufhin zu prüfen, ob sie ihm für sein Fach nützlich sein können. Je breiter die wissenschaftliche Grundlage ist, die jemand besitzt, um so mehr wird er befähigt sein, von der Wissenschaft selbst Vorteil für die Praxis zu haben. Wer kann denn wissen, ob eine Entdeckung, die zunächst nur ein rein theoretisches Interesse erweckt, vielleicht sogar lange Zeit zu wissenschaftlichen Spielereien benutzt wird, nicht noch einmal zur größten praktischen Bedeutung gelangen kann? Geißler entdeckte (1858) die nach ihm benannten Röhren, Hittorf (1869) die Eigentümlichkeit des Entladungsvorganges in Röhren, die mit sehr stark verdünnten Gasen gefüllt sind, und erst Röntgen war es, der (1895) die praktische Anwendung der Hittorfschen Röhren fand, der die neuere Medizin so unendlich viel verdankt. — Die Hertzschen Experimente, durch die er (1888) die Maxwellsche elektromagnetische Lichttheorie bestätigte, waren scheinbar auch ohne praktischen Wert, bis Markoni (1897 auf den Gedanken kam, mittelst der Hertzschen Wellen ohne Draht zu telegraphieren. Welche Bedeutung diese Art der Nachrichtenübermittlung für die Schiffahrt, militärische und sonstige Zwecke bereits gewonnen hat, ist allgemein bekannt. —

Wir brauchen aber gar nicht so weit zu gehen. Es wird jetzt auf einem Gebiete äußerst intensiv gearbeitet, von dem die Forstwirtschaft einmal großen Nutzen haben wird, nämlich auf dem der Gärungsphysiologie. Daß der vollständige Abbau der Pflanzenreste im Walde, der notwendig ist, um den Kreislauf in der Natur zu vollenden, allein durch Gärungspilze erfolgt, ist festgestellt. Einzelne der wichtigsten, z. B. die Zellulosebakterien, sind auch schon so weit erforscht, daß man die Kenntnisse über sie in der Praxis verwerten kann: in der Forstbotanik scheint man sich aber bis jetzt um diese Entdeckungen nicht gekümmert zu haben, sonst würde man die Lösung der Humusfrage nicht noch immer da suchen, wo sie sicher nicht zu finden ist. Die Pilze spielen zwar jetzt schon in der Forstwissenschaft und Wirtschaft eine große Rolle, aber fast ausschließlich die pathogenen, die an Wichtigkeit hinter den humusgärungs- und stickstoffbindenden Bakterien weit zurückstehen. — Auch in der Forstwirtschaft muß die Hygiene obenan stehen, die Pathologie kommt erst viel später. Wir müssen danach streben, gesunde Bestände zu erziehen, dann werden uns die Pflanzenkrankheiten wenig Sorge machen. Das Auftreten eines pathogenen Pilzes ist in der Regel nur eine Quittung darüber, daß wirtschaftliche Fehler gemacht worden sind, und die Erforschung, worin diese Fehler liegen, ist meist viel wichtiger, als die Kenntnis der Biologie des Pilzes selbst. Wenn wir also die Absicht haben, von den Naturwissenschaften vollen Nutzen zu ziehen, so müssen wir sie auch als solche studieren und nicht mit der Vorsilbe „Forst-", und das können wir nur auf den Universitäten. —

Der Mediziner bleibt, nachdem er sich über seine theoretische Vorbildung ausgewiesen hat, nominell allerdings auf der Universität, in Wirklichkeit aber bringt er die meiste Zeit seiner weiteren Ausbildung da zu, wo das Feld seiner späteren Tätigkeit liegt, bei den Kranken. Analog diesem Studiengange müßte der Forstmann in den Wald, und er muß es auch. — Deshalb darf es nicht heißen „Universität o d e r Akademie", sondern es muß heißen „Universität u n d Akademie". — Ich bin fest davon überzeugt, daß P f e i l, wenn er noch lebte, der letzte sein würde, der sich dem widersetzte. Zu seiner Zeit allerdings, in der die naturwissenschaftlichen Kenntnisse noch so wenig umfangreich waren, daß sie ein einziger Mensch vollständig in sich aufnehmen konnte und die forstliche Praxis wenig Nutzen von ihnen hatte, war er im Recht, wenn er der Akademie den Vorzug gab.

Wir kommen jetzt zur Beantwortung der Frage: wie soll sich der wissenschaftlich gebildete Forstmann, nachdem er die Hochschule verlassen hat, fortbilden? Er hat eine Menge theoretisches Wissen in sich aufgenommen, vielleicht auch schon einige Erfahrungen gesammelt; wie soll er es nicht nur erhalten, sondern auch noch nach Möglichkeit vermehren? Daß seine praktische Tätigkeit dazu beiträgt, ist selbstverständlich, aber diese allein ist nicht ausreichend. — Die Beantwortung dieser Frage führt uns notwendig zur Besprechung der forstlichen Literatur und Presse.

Schon Pfeil beklagte es, daß oft die, die die meisten praktischen Erfahrungen gemacht haben und besitzen, am allerwenigsten zu literarischen Mitteilungen geneigt sind. — Diese sterben mit ihnen ab, weil sie nicht bekannt und Eigentum des großen Publikums werden. Wie groß dieser Verlust für die Wissenschaft ist, bemerkte schon der verstorbene Cotta. — Pfeil gibt ferner den jungen Forstmännern oder den Forstschriftstellern, die den Ehrgeiz haben, sich in der Forstliteratur ein Gedächtnis zu stiften, den Fingerzeig, „der wohl Beachtung verdiene", daß eine einzige in der Natur gemachte wirklich richtige Beobachtung, die neu ist und durch eine bisher noch unbekannte Tatsache die Wissenschaft bereichert, den Namen dessen, der sie entdeckte und mitteilte, für eine lange Zeit erhalten werde, während die schönsten Theorien, die besten Lehrbücher nach kurzer Zeit unbeachtet gelassen werden, weil sie bald durch neuere, richtigere und bessere in den Schatten gestellt werden.

Woher kommt es nun, daß sich seit Pfeils Zeiten die literarischen Verhältnisse in der Forstwissenschaft nicht gebessert haben, wenigstens in Norddeutschland nicht? Die wissenschaftliche Bildung der Forstwirte ist doch durchweg besser und das Bedürfnis nach geistiger Anregung nicht geringer geworden. — Die Gründe hierfür sind mannigfach. — Ein Buch oder auch nur eine Broschüre zu schreiben entschließt sich der wissenschaftlich gebildete Praktiker nur schwer. Zunächst fehlt es ihm an Zeit, denn der Umfang der Dienstgeschäfte ist in der Regel so bemessen, daß er die volle Arbeitskraft in Anspruch nimmt. Weiter fehlt die nötige Literatur, die sich der einzeln Wohnende nur unter Aufwendung erheblicher Geldmittel verschaffen kann. Vielen auch, die sehr wohl befähigt sind, eine vorzügliche kurze Abhandlung zu schreiben, verursacht die Anordnung des Stoffes bei

einer größeren Arbeit unüberwindliche Schwierigkeiten. — Und dann die Kritik! — Ja, wenn die Kritik nicht wäre. — Wer nicht berufsmäßig Bücher schreibt, veröffentlicht nichts, was er für gleichgültig hält; er gibt sein Bestes. Wenn ein Kritiker dann zunächst in gönnerhafter Weise anerkennt, daß es zu loben ist, wenn „ein Mann aus der Praxis" auch einmal die Feder ergreift, um aus „dem reichen Schatze" seiner Erfahrungen etwas mitzuteilen, wenn er dann weiter durchblicken läßt, daß in der Arbeit eigentlich wenig Neues enthalten ist, daß er jedenfalls alles schon vorher gewußt hat; wenn der Autor dann ferner die „unmaßgebliche" Meinung des Kritikers über die Mängel seines Buches zu hören bekommt, um am Schlusse lesen zu müssen, daß der Leser trotz der vielen Mängel das besprochene Werk „nicht ganz ohne Nutzen" aus der Hand legen wird, dann empfindet er eine solche Kritik als despotisch und ungerecht. Die persönliche Kränkung ist aber nicht das größte Unheil, das der Kritiker angerichtet hat; viele Menschen, die eine besondere Fähigkeit haben, die Wissenschaft zu fördern, lassen sich allein durch die Furcht vor einer unangemessenen Kritik davon abhalten, ihr Wissen zum Allgemeingut zu machen. Denn wie viele Leser lassen sich nicht in Wirklichkeit ihre Ansicht über ein Buch durch den Kritiker vorschreiben? — Auf dem Titelblatt einer kleinen Broschüre, deren Inhalt hier nichts zur Sache tut, steht als Motto: „Die meisten Menschen sind auf den Autoritätsglauben angewiesen; sie bewahren denselben um so treuer, je weniger sie am Selbstdenken und -prüfen Geschmack finden oder die Kraft dazu haben." Dadurch, daß eine sogenannte Autorität — mit dieser Bezeichnung geht man in neuerer Zeit etwas verschwenderisch um — etwas behauptet, ist doch wissenschaftlich noch nicht das Geringste bewiesen, denn die Wissenschaft muß exakte Beweise fordern; eine wissenschaftliche Autorität hat lediglich so lange die Vermutung für sich, daß das, was sie behauptet, wahr sein werde, bis sie den noch fehlenden Beweis nacherbracht hat, oder von anderer Seite bewiesen wird, daß ihre Behauptung falsch war. — Pfeil sagt: „Das Urteil aller Rezensenten hat immer nur einen relativen Wert, indem jeder sich die Anforderungen feststellt, die er gerade an ein Buch macht, und es einer lobt und tadelt, je nachdem er glaubt, daß es diesen entspricht oder nicht genügt. Der Leser selbst muß also eigentlich über den Wert eines Buches entscheiden, und also Richter

im Streite zwischen Rezensenten und Autor sein.“ Aus diesem Grunde hielt es Pfeil mit Recht für unangemessen, auf eine Kritik mit einer Antikritik zu antworten, „da das Publikum zuletzt den Zank beider bezahlen und lesen müsse, ohne daß es dadurch über den wirklichen Wert des Buches aufgeklärt und besser unterrichtet wird. Jedem Leser bleibe die Freiheit, sein Urteil selbst zu bilden, da ja dazu das Buch vorliege.“ — Ein Kritiker, der die Rezensionen als Gelegenheit benutzt, mit seinem wirklichen oder eingebildeten Wissen zu glänzen, und dem das zu besprechende Werk nur als geeigneter Hintergrund hierfür dient, hat seinen Beruf verfehlt. — Man wird ferner fordern können, daß eine Kritik frei sei von Voreingenommenheit. Wenn sich alle Männer der Wissenschaft zu der Erkenntnis durchgerungen hätten, daß es für die Allgemeinheit unendlich gleichgültig ist, wer etwas Brauchbares zuerst gefunden hat, und wenn diese Erkenntnis durch etwas mehr Wohlwollen bei der Bücherbesprechung zum Ausdruck käme, dann wäre der Wissenschaft selbst damit ein wesentlicher Dienst geleistet. — Ein weiterer wunder Punkt liegt in der Form der Kritik. Es kann einer über ein Werk urteilen, wie er will, wenn er aber dies Urteil öffentlich zum Ausdruck bringt, dann darf er nie vergessen, was er seiner wissenschaftlichen und auch seiner gesellschaftlichen Erziehung schuldig ist. Gerade hierin ist durch Pfeil und nach ihm von anderen viel gesündigt worden.

Wenn es also erklärlich ist, daß die Männer der Praxis mit größeren wissenschaftlichen Arbeiten so selten an die Öffentlichkeit treten, so könnten sie doch in kleineren abgerundeten Artikeln ihre Erfahrungen mitteilen; hier haben sie keine Kritik zu fürchten und die nötige Zeit dazu müßte sich doch wohl finden lassen. — Es gibt jetzt wohl kaum noch gebildete Menschen, die sich der Einsicht verschließen, daß die Presse ein eminentes Bildungsmittel ist, trotz der unerwünschten Auswüchse, von denen sie nicht frei ist. Sie — und ganz besonders die wissenschaftliche Fachpresse — soll der Spiegel sein, der uns ein Abbild des Geisteslebens eines Volkes entwirft. — Sie soll!! — Aber wenn man unser geistiges Leben auf forstwissenschaftlichem Gebiete nach dessen Spiegelbild in der norddeutschen forstlichen Presse beurteilen wollte, so würde man uns doch bitter Unrecht tun. — „Die forstliche Presse“ — eines der unerquicklichsten Themata — ist auf der Hauptversammlung des Deutschen Forstvereins im

Jahre 1906 so eingehend und treffend besprochen worden, daß hier nur darauf verwiesen werden braucht. Eine forstliche Presse, wie sie von Bentheim wünscht, „deren wichtigste Eigenschaft sei die Unabhängigkeit, das freie Wort, dem die einzige Grenze durch Gesetz und Wohlanständigkeit gezogen werde", sie fehlt uns für Norddeutschland und damit eines der wichtigsten Bildungsmittel. Wir haben in ganz Deutschland eigentlich nur drei forstliche Fachzeitschriften, die auf die Bezeichnung „wissenschaftlich" Anspruch machen können, und wenn man sehr hoch rechnet, so liest von 4—5 wissenschaftlich gebildeten Forstleuten in Norddeutschland höchstens einer eine wissenschaftliche Fachzeitschrift. Medizinische wissenschaftliche Zeitschriften gibt es in Deutschland 70—80, und es dürfte wohl schwer halten, auch nur einen Dorfarzt zu finden, der nicht sein Bedürfnis, sich weiter zu bilden, dadurch beweist, daß er sich eine Fachschrift hält. Auch den übrigen Berufen, für die eine wissenschaftliche Vorbildung Bedingung ist, steht eine ähnlich reiche Fachliteratur zur Verfügung. Und trotzdem würde man irren, wenn man daraus, daß so wenige Forstleute Fachzeitschriften lesen, schließen wollte, ihr Bedürfnis, sich weiterzubilden, sei gering. Wenn Zeitschriften, die für einen bestimmten Leserkreis geschrieben werden, bei diesem nur geringe Beachtung finden, so ist dies ein Beweis dafür, daß sie dem Bedürfnis dieses Kreises nicht genügen.

Ich bin mir sehr wohl bewußt, daß ich mir hier eine Abschweifung vom Thema habe zuschulden kommen lassen, und wenn man mir dies zum Vorwurf machen sollte, will ich diesen Tadel gerne hinnehmen, aber die traurigen Zustände in der forstlichen Presse müssen doch irgendwo zur Sprache gebracht werden, und zwar so oft und so eindringlich wie möglich. Daß derartige Klagen in norddeutschen Forstzeitschriften keine Aufnahme finden, braucht wohl nicht erst erwähnt zu werden; es ist aber besser, sie an ungeeigneter Stelle vorzubringen, als sie ganz zu verschweigen. — Wenn die forstliche Presse Artikeln die Aufnahme verweigert, die ihr persönlich unangenehm sind, so kann man das ja verstehen, obwohl sie damit ziemlich vereinzelt dasteht, wenn sie aber auch dem ihre Spalten verschließt, der in einer rein wissenschaftlichen Sache von ihrem Standpunkte abweichende Ansichten äußert, so ist das für die Mehrzahl der Menschen absolut unverständlich.

Zum Schluß bleibt noch zu besprechen, wie sich die Forst-

wissenschaft selbst fortbilden soll. Dies führt notwendig zur weiteren Frage: wie sollen wir forschen und wo sollen wir es? Alles auf Erden ist dem Wechsel unterworfen, es nutzt sich ab, veraltet und muß schließlich durch Neueres und Besseres ersetzt werden. Haben wir in der Forstwissenschaft auch immer rechtzeitig für einen Ersatz und eine Verbesserung der Methoden unserer Forschung gesorgt, reichen diese wirklich noch aus, um den gesteigerten Ansprüchen zu genügen? Die Erkenntnis, daß dies nicht der Fall ist, scheint sich ja langsam Bahn zu brechen; hoffen wir, daß wir bald positive Erfolge zu sehen bekommen. — Welche Methoden der Forschung zur Anwendung kommen, ist an sich gleichgültig, und je mehr eine Wissenschaft fortschreitet, um so mannigfaltiger müssen diese naturgemäß werden; man wird nur von ihnen verlangen, daß sie exakte und vergleichbare Ergebnisse liefern, im übrigen wird auch hier volle wissenschaftliche Freiheit zu fordern und zu gewähren sein. —

Auf einer Naturforscherversammlung machte Virchow einmal darauf aufmerksam, daß die Geschichte der Naturwissenschaften eine große Menge von Tatsachen darbiete, die uns lehren, daß sehr verwandte Erscheinungen auf sehr verschiedene Weise sich vollziehen können, und daß es falsch sei, anscheinend gleiche Vorgänge immer auf gleiche Ursachen zurückzuführen. Ebenso sei es der Forschung wenig förderlich, bei verschiedenen Erscheinungen deren Übergänge aufzusuchen. „Die Gegensätze sind zu fixieren und an ihnen sind Studien zu machen; man muß die Erscheinungen da erkennen, wo sie uns wirklich entgegentreten und sie nicht vermuten, wo sie vielleicht vorhanden sein können, wo wir sie aber nicht erkennbar wahrnehmen." Deshalb haben auch die seit einer langen Reihe von Jahren ausgeführten Untersuchungen über Durchforstungen nur so geringe Erfolge gehabt, weil man nicht da angefangen hat zu forschen, wo uns die Erscheinung des Wachstums der Pflanze zuerst entgegentritt, nämlich im Blatt, sondern da, wo der Wachstumsprozeß sein Ende erreicht, am Stamm. —

Wo wir forschen sollen, braucht wohl eigentlich nicht erst gesagt zu werden, es ist zu selbstverständlich. — Pfeil sagt: „Erkennt man den Waldbau, d. h. die Herstellung der vorteilhaftesten Holzbestände in einer Art, daß sie am schönsten erhalten und am vorteilhaftesten benutzt werden können, als die wichtigste Aufgabe des Forstwirtes, dem die Bewirtschaftung eines

Waldes übergeben wird, so wird man auch zugeben müssen, daß die Forstbotanik, d. h. die Kenntnis des Lebens und Verhaltens der Forsthölzer, für diesen der wichtigste Teil aller Hilfswissenschaften ist, so daß man sie eigentlich gar nicht mehr als Hilfswissenschaft bezeichnen kann, sondern sie als Hauptwissenschaft angesehen werden muß, sobald durch sie das Leben der Bäume unter allen verschiedenen Verhältnissen, die Bedingungen ihrer vollständigen Entwicklung erschöpfend dargestellt werden." — Das Leben unserer Waldbäume müssen wir also erforschen, und zwar da, wo sie uns in Erscheinung treten, im Walde; dort müssen sich die Wissenschaftsmänner und die Praktiker die Hände reichen, und wenn erstere praktisch, letztere wissenschaftlich genug sind, dann werden sie sich auch verstehen, sie werden vereint die Bäume befragen, nachdem sie deren Sprache zu deuten gelernt haben, „denn diese allein können es sie lehren, wie sie erzogen sein wollen".

Erster Teil.

Das Licht.

1. Zwei Grundgesetze sind es, auf denen sich die gesamte moderne Naturwissenschaft aufbaut: das Gesetz von der Erhaltung der Materie und das Gesetz von der Erhaltung der Energie.

Die Gesamtmenge an Materie oder Stoff, dem raumerfüllenden Etwas, das auf untere Sinne wirkt, ist im Weltall unveränderlich. Von dem vorhandenen Stoffe kann nichts vernichtet und es kann ihm nichts hinzugefügt werden. Alles, was wir als Vernichtung oder Neuerstehung eines Stoffes wahrzunehmen glauben, ist nichts als eine Veränderung der Form. Ebenso unveränderlich ist der Gesamtvorrat an Energie in der Welt. Die Energie oder die Wirkungsfähigkeit eines Körpers kann scheinbar verschwinden, sie kann andere Formen annehmen, aber sie kann nicht untergehen. Auf armen Sandboden wächst ein Baum, wir wissen, daß seine Masse tausendfach die Nährstoffmenge übertrifft, die ihm das dürftige Erdreich bieten konnte; woher stammen Stoff und Kraft, die ihm seine äußere Form gegeben haben? Aus kleinen Anfängen, dem Samenkorn, hat sich seine Form gebildet, aus seiner Umgebung hat er die Baustoffe aufgenommen und die Sonne hat die Energie zum Bau geliefert. — Stoffwechsel, Energiewechsel und Formwechsel sind die für den lebenden Organismus charakteristischen Veränderungen, und die Frage nach Ursprung und Wechsel von Energie und Stoff, in geringerem Grade auch der Formenwechsel, werden uns wiederholt bei diesen Studien beschäftigen; denn die Pflanzenphysiologie ist ja nichts anderes als die Lehre von der Gesamtheit der Veränderungen im Leben der Pflanzen.

2. Sowie die Erde der Sonne ihren Ursprung verdankt, so ist die Sonne auch weiter der Urquell alles Lebens und aller Bewegung auf der Erde. Ihre Strahlen erzeugen durch ungleiche Erwärmung der Erdoberfläche die Winde, sie verdampfen das Wasser, das dann als Regen oder Schnee die Flüsse speist, sie zerlegen in den grünen Pflanzenblättern Kohlensäure und schaffen so nicht nur Nahrung für Menschen und Tiere, sondern sie liefern uns als aufgespeicherte Energie in Holz, Torf und Kohlen Licht und Wärme für unsere mannigfachen Bedürfnisse. Indem das Gesetz der Erhaltung der Energie die Umwandlung sämtlicher Energien der Natur: Schall, Wärme, Licht, Elektrizität, chemische Verwandtschaft, Elastizität und mechanische Energie ineinander beherrscht, so daß sich diese nur als verschiedene Erscheinungsformen ein und derselben Wesenheit darstellen, führt es zur Erkenntnis ihres inneren Zusammenhanges und berechtigt uns in diesem Sinne von der Einheit der Naturkräfte zu sprechen.

Kraft ist eine Fähigkeit, Körper in Bewegung zu setzen, sie zu veranlassen, ihren Ort im Raume zu verändern, und der Erfolg der Wirkung einer Kraft heißt Arbeit. Wenn also Energie die Fähigkeit ist Arbeit zu leisten, so muß sie selbst Bewegung sein. Dies trifft in Wirklichkeit auch zu. Licht, Wärme und Elektrizität sind fließende Energien, die sich nur durch die Länge ihrer Wellen voneinander unterscheiden, und zwar haben die Lichtstrahlen die kürzesten und die elektrischen die längsten Wellen, während zwischen beiden und zum Teil untrennbar von ihnen die Wärmestrahlen stehen. Weil wir aber Licht, Wärme und Schall mit verschiedenen Sinnen wahrnehmen, so müssen sie uns schon deshalb als verschieden erscheinen. —

3. Glühend heiß scheint die Julisonne auf die Erde, die erhitzte Luft flimmert über dem Boden, die Fülle des Lichtes blendet das Auge. Ermattet macht der Wanderer unter einem einsamen Baume Halt. Wohltuend empfindet er die Kühle und blickt mit Sehnsucht nach dem fernen Walde, in dessen Schatten er zu rasten gedenkt. — Endlich hat er ihn erreicht, ein hoher Buchenbestand nimmt ihn auf und angenehm wirkt auf ihn das gedämpfte Licht unter den geschlossenen Baumkronen. — Einzelne Sonnenstrahlen haben durch kleine Lücken im Blätterdach ihren Weg gefunden und zeichnen runde, glänzende Lichtscheiben auf den Erdboden. — Aber bald vermißt unser Wanderer die Kühle.

auf die er so sehnsüchtig gehofft hatte: ihm scheint es unter dem einsamen Baume am Wege kühler gewesen zu sein als im Schatten des Waldes, und er irrt sich nicht, es ist im Walde wirklich wärmer, weil hier kein Schatten vorhanden ist.

Es ist merkwürdig, daß die Forstleute so oft von Licht und Schatten sprechen, ohne sich darüber klar zu werden, was eigentlich Schatten ist. — Die Sonne, die für das Pflanzenleben als einzige Lichtquelle in Betracht kommt, sendet ihre Strahlen in geradliniger Richtung zur Erde. Ein undurchsichtiger Körper wird von ihr nur auf seiner ihr zugewendeten vorderen Seite beleuchtet, seine hintere Seite und ein sich an diese anschließender Raum bleibt dunkel. Dieser Raum heißt Schatten und zeichnet sich auf dem Erdboden in scharfen Umrissen als dunkler Fleck, als „Schlagschatten" ab. Wäre die Sonne nur ein leuchtender Punkt, so würde dieser Schatten überall gleichmäßig dunkel sein, da sie aber als leuchtende Fläche ihr Licht zu uns sendet, so entwerfen die vielen leuchtenden Punkte, aus denen man sie sich bestehend denken kann, ihre besonderen Schatten, und der Raum, der hinter dem undurchsichtigen Körper von keinem Lichtpunkte Licht erhält, der diesen allen gemeinschaftliche Schatten heißt Kernschatten. Ihn umschließt ein sich nach hinten erweiternder Raum, der immer noch von einem Teile der Lichtpunkte Strahlen empfängt und somit teilweise erleuchtet ist, der Halbschatten. Der Halbschatten fehlt im Walde so gut wie ganz; denn da der scheinbare Durchmesser der Sonne nur 32′ beträgt, so weichen die Sonnenstrahlen in ihrer Richtung höchstens um diesen kleinen Winkel, also um etwa einen halben Grad voneinander ab, sie sind also nahezu parallel unter sich. — Mancher, der dies liest, wird denken, das sind physikalische Haarspaltereien; es läßt sich aber nicht leugnen, daß nur der, der die Begriffe scharf zu unterscheiden vermag, sie auch wird richtig anwenden können. In der bilderreichen Jägersprache können wir von einer Blume des Hasens, von Schweiß usw. reden, in der Wissenschaft und auch in der Wirtschaft müssen wir aber das Kind mit dem richtigen Namen nennen. — Schatten ist also ein größerer oder geringerer Grad von Dunkelheit, und wenn es auf der Erde Nacht ist, so ist dies nur eine Folge davon, daß sich ihr der Sonne abgewendeter Teil im Schatten befindet.

Woher kommt es nun, daß es im Schatten eines Baumes nicht ganz dunkel ist? Die Sonne ist eine Lichtquelle, ein Selbstleuchter. Nichtleuchtende Körper können nur gesehen

werden, indem sie das Licht, das ihnen von Selbstleuchtern zugesendet wird, von ihrer rauhen Oberfläche nach allen von dieser denkbaren Richtungen durch Zerstreuung zurücksenden. Ein auf diese Weise beleuchteter Körper spielt selbst die Rolle einer Lichtquelle, er leuchtet mit erborgtem Lichte. Besonders auffällig ist dies beim Monde, und auch die Tageshelle entsteht nur dadurch, daß das Sonnenlicht allseits von Wolken, Luftteilchen und den Gegenständen der Erdoberfläche zurückgestrahlt wird; auf sehr hohen Bergen und vom Luftballon aus sieht man am hellen Tage die Sterne am Himmel. Dies zurückgestrahlte Licht hellt auch etwas den Schatten unter dem Baume auf.

4. Während durch einen durchsichtigen Körper das Licht ziemlich unverändert hindurchgeht, wird es beim Durchgange durch durchscheinende mehr oder weniger verändert. Man sieht durch sie nicht mehr die Gegenstände selbst, sondern nur noch einen Schein des Lichtes, weil dieses bei seinem Durchgange nach verschiedenen Richtungen zerstreut worden ist. Diese Zerstreuung durch die grünen Blätter und die zerstreute Zurückwerfung an Zweigen, Stämmen und anderen Gegenständen bewirken, daß im Walde bei entsprechender Verteilung der Stämme und genügendem Schluß ebensowenig Schatten entsteht wie bei bewölktem Himmel, weil eben alle Körper von unzähligen Richtungen aus Licht erhalten. Wäre dies nicht der Fall, bekämen unsere Bäume nur von der der Sonne zugewendeten Seite Licht, dann müßten sie ganz anders aussehen; sie würden statt ihrer jetzigen Kronenform möglichst ausgebreitete ebene Scheiben ausbilden. Die Zerstreuung und Zurückwerfung des Lichtes bewirkt also, daß die Pflanzen von möglichst vielen Seiten Licht erhalten und daß selbst das Licht, das auf dem Wege von der Sonne zur Erde bereits an ihnen vorbeigegangen ist, noch nicht vollständig für sie verloren ist. Der Baum wächst also nicht nur durch das Licht, das er von oben bekommt; alle Blätter, die fälschlich Schattenblätter genannt werden, leben und assimilieren nur von dem Lichte, das sie indirekt durch Zerstreuung und Zurückwerfung erhalten, und da dies Licht naturgemäß schwächer sein muß, haben sie sich diesen Verhältnissen angepaßt, sie sind dünner und ausgedehnter an Fläche und haben einen von den eigentlichen Sonnenblättern abweichenden anatomischen Bau. Durch das zerstreute Licht und nicht durch das

direkte Sonnenlicht findet, wie sicher erwiesen ist, das größte Wachstum statt. Deshalb muß es unsere Aufgabe sein, Bäume zu erziehen, deren Kronen so geformt sind, daß die an diesen sitzenden Blätter einen möglichst großen Teil des zerstreut zurückgeworfenen Lichtes zur Assimilation verwerten können, und zwar an Stämmen, die einen möglichst hohen Nutzwert versprechen. Diese Aufgabe suchen wir durch die Durchforstungen zu lösen. — Das Licht hat als Kraft zwei Eigenschaften: Richtung und Größe; auf beide können wir bei den Durchforstungen bis zu einem gewissen Grade einwirken, indem wir einmal dafür sorgen, daß genügend Gegenstände vorhanden oder geschaffen werden, die wie Blätter, Zweige und Stämme das einfallende Licht nach allen Richtungen zerstreuen, und daß auf diese Gegenstände genügend Licht einfällt, das zerstreut werden kann. Es kommt also bei Durchforstungen darauf an, daß eine genügende Anzahl von Stämmen auf der Flächeneinheit erhalten bleibt, daß diese Stämme in ihren Kronen möglichst viel Zweige und Blätter haben, und daß die Kronen einen solchen Abstand erhalten, daß genügend Licht einfällt, um diffus in die Kronen zurückgeworfen zu werden. Wie groß die Lichtmenge ist, die den Baumkronen durch diffuse Reflexion zugeführt wird, kann man sich einigermaßen vorstellen, wenn man bedenkt, daß der Mond, ein an sich dunkler Körper mit rauher Oberfläche, das Licht, das er von der Sonne erhält, auf eine Entfernung von über 300000 Kilometern in solcher Stärke auf die Erde zurückwirft, daß er diese als Vollmond ziemlich zu erhellen vermag. Da nun die Stärke der Beleuchtung einer Fläche im umgekehrten Verhältnis des Quadrates ihrer Entfernung von leuchtenden Punkten steht und die Strahlen des Mondes beim Durchgang durch die Erdatmosphäre noch bedeutende Verluste durch Absorption zu erleiden haben, so folgt daraus, daß die von der Erde und irdischen Gegenständen zurückgeworfenen Sonnenstrahlen noch sehr viel wirksamer sein müssen; wir beachten sie nur nicht, weil wir sie vor den noch viel helleren direkt von der Sonne kommenden nicht sehen können. Ihre Wirkung aber können wir sehen. Jede Pflanze stellt ihre Zweige und Blätter in der Regel so, daß sie nicht das direkte, sondern das diffus reflektierte Licht möglichst gut ausnutzen kann. Die Zweige stehen schräg nach oben, solange, wie z. B. bei jüngeren Kulturen, der Erdboden der alleinige Reflektor des Lichtes ist; sie wachsen aus demselben Grunde bei freistehenden

Birken und Fichten wie die Schleier nach unten, während dieselbe Fichte als Unterholz Zweige und Nadeln möglichst horizontal stellt. Wie der Erdboden, so wirken auch die Baumkronen als Reflektoren und sehr wesentliche Dienste leisten in dieser Hinsicht die unterständigen Stämme. — Der Photograph sucht bei Porträtaufnahmen die Schatten durch Schirme aus Papier oder Stoff aufzuhellen; in ähnlicher Weise wirken die unterständigen Baumkronenschirme als Reflektoren, und der günstige Einfluß des Unterholzes ist zum Teil auf seine reflektierende Wirkung zurückzuführen. Deshalb beruhen alle Durchforstungen auf falschen Voraussetzungen, bei denen eine Entnahme der zurückgebliebenen und unterdrückten Stämme grundsätzlich stattfindet. — Zum Studium der Reflexionswirkung eignen sich besonders Bestände mit größeren und kleineren Lücken. Man kann hier deutlich sehen, daß die Randbäume selbst kleinerer Lücken Zweige und Blätter ausbilden, um von dem reflektierten Licht, das sie von unterständigen Baumkronen von den Lücken her erhalten, Vorteil zu ziehen, während die Randstämme viel größerer, aber unbestandener Lücken ein derartiges Wachstum nicht zeigen.

5. Wie schon früher (3) erwähnt wurde, zeichnen Lichtstrahlen, die durch kleine Lücken zwischen den Blättern hindurch auf den Erdboden fallen, auf diesen helle Flecke. Bei partialer Sonnenfinsternis sind diese Lichtflecke aber nicht rund, sondern sie haben eine deutliche sichelförmige Gestalt; sie sind wirkliche Sonnenbildchen, die ebenso zustande kommen wie die Bilder in einer Camera obscura. Da nun die Stärke der Beleuchtung einer Fläche im umgekehrten Verhältnis des Quadrates ihrer Entfernung vom leuchtenden Punkt steht, und man sich die freien Kronenzwischenräume, durch die das Licht fällt, aus unzähligen leuchtenden Punkten bestehend denken kann, so folgt hieraus, daß:

a) die Lichtwirkung auf den Boden umgekehrt proportional des Quadrates der Baumhöhe ist oder richtiger des Abstandes der Kronenlücke vom Boden. Wenn man also in zwei Beständen, von denen der eine 10, der andere 20 Meter hoch ist, gleiche Lichträume in den Kronen schafft, so läßt man im ersteren viermal so viel Licht auf den Boden als im letzteren. Hanglagen wirken wie geringere Baumhöhe.

b) Bei gleichem Abstand der Kronen vom Boden ist der Lichteinfall den Flächen, durch die das Licht einfällt, proportional. Da sich nun diese Flächen ungefähr wie die Quadrate der Kronenabstände verhalten werden, so wird bei gleichem Abstand der Kronen vom Boden in den einen Bestand viermal so viel Licht einfallen, wenn seine Kronen einen doppelten Abstand von einander haben im Vergleich zu dem andern.

Gibt man nun zu, daß jeder Lichtstrahl, der im Walde keine Arbeit leistet, weil er nicht richtig geleitet wird, einen Kraftverlust bedeutet, so folgt daraus, daß Löcherhiebe, Kulissenschläge und vor allen Dingen der Plenterwald keine geeigneten Wirtschaftsformen sein können, um die höchste Produktion an organischer Substanz herbeizuführen; denn sie nutzen das Licht nicht genügend aus und werfen Schatten, in dem Holzpflanzen nicht zu gedeihen vermögen. Aus demselben Grunde müssen auch zu starke Durchforstungen falsch sein, während bei zu gedrängtem Stande das Licht auch nicht genügend Arbeit findet.

6. Das Wort Licht hat eine doppelte Bedeutung. Im subjektiven Sinne ist es der Inbegriff der durch das Auge vermittelten Wahrnehmungen, im objektiven ist es jenes Etwas, das von der Außenwelt kommend unsere Sinne erregt. Dieses von den leuchtenden Körpern ausgedehnte Etwas ist nichts Körperliches oder materiell Greifbares, sondern eine wellenförmige Bewegung eines hypothetischen Stoffes, des Lichtäthers, mit dem das ganze Weltall erfüllt gedacht werden muß. Diesen Lichtäther muß man als unendlich feines, unwägbares, äußerst elastisches Medium ansehen, das alle Substanzen durchdringt. So gleicht der unendliche Weltenraum einem Äthermeere, in dem sich alle Vorgänge der Natur abspielen. Ein leuchtender Körper vermag nun dies Äthermeer zu erregen. Jeder leuchtende Punkt bildet ein Erschütterungszentrum, von dem aus sich die Wellenbewegung des Lichtäthers kugelförmig ausbreitet. Die Vibrationsbewegung leuchtender und sichtbarer Körper ist aber keine Gesamtbewegung, wie die der tönenden Körper, sondern die einzelnen Moleküle — d. s. die kleinsten gleichartigen Teile, aus denen der Körper aufgebaut ist, seine mechanischen Urbestandteile — der leuchtenden Objekte schwingen für sich. Da nun jedes durch einen leuchtenden Punkt erregte Ätherteilchen seine Bewegung an alle umliegenden mitteilt, so kann man jedes von

einem Lichtpunkte erregte Teilchen als ein neues Erschütterungszentrum auffassen, das somit wieder das Zentrum einer Kugelwelle wird. Alle diese Kugelwellen werden von einer Kugelfläche eingehüllt, deren Zentrum mit der des Lichtpunktes gemeinsam ist (Müller-Pouillet S. 401). Da Körper mit rauher Oberfläche das einfallende Licht so nach allen Seiten gleichmäßig zurücksenden, als ob ihre einzelnen Oberflächenpunkte selbstleuchtend wären, so bildet jeder dieser Punkte ein Erschütterungszentrum, von dem Kugelwellen ausgehen.

7. Abbe nennt die Lichtmenge, die ein Flächenelement auf die Flächeneinheit eines anderen strahlt, die Erleuchtungsstärke, während man unter

8. Helligkeit die Wechselbeziehung zwischen einer Lichtquelle und dem Auge versteht und durch sie die Stärke der Lichtempfindung ausdrücken will.

9. Die absolute Helligkeit ist abhängig von der Intensität des leuchtenden Flächenelementes, während man unter

10. indizierter Helligkeit die von irgendeiner Lichtquelle an irgendeinem Orte hervorgerufene Erleuchtungsstärke versteht.

Uns Forstleuten wird es bei unseren Schlagstellungen und Durchforstungen meist nur auf die Kenntnis oder Ermittlung der indizierten Helligkeit ankommen. — Es wäre übrigens zu wünschen, daß diese durch die wissenschaftliche Optik festgelegten Begriffsbestimmungen auch in der forstlichen Praxis Eingang fänden; es würde dadurch das Studium von Spezialwerken wesentlich erleichtert werden. Die Begriffe „hell" und „dunkel" im Walde sind uns außerdem so geläufig, daß die Einführung des Begriffes „Helligkeit" nicht die geringsten Schwierigkeiten bieten kann. — Zurzeit sind hierfür verschiedene Bezeichnungen im Gebrauch. Beispielsweise nennt Wiesener die Helligkeit „Lichtintensität" und bezeichnet die absolute Helligkeit als „relativen Lichtgenuß", während er die indizierte Helligkeit, bei der die verschiedenen Pflanzen noch gedeihen können, „absoluten Lichtgenuß" nennt (Jost S. 374). Mit dem Worte „Genuß" verbindet man doch zweifellos die Vorstellung von etwas Angenehmem, während gerade umgekehrt zu starke Helligkeit die Pflanze schädigen, ja töten kann und sie zwingt, die mannigfachsten Vorkehrungen zu treffen, um sich gegen sie zu schützen.

11. Ohne unser Auge gibt es keine Lichtempfindung, weil eben unter Licht nur die Reizung der Sehnerven zu verstehen ist, die die Lichtquelle durch Vermittlung des Lichtäthers auf der Netzhaut des Auges erregt. Deshalb darf nur das Auge über die Helligkeit der Lichtquellen urteilen, und es ist zu verwerfen, zum Messen des Lichtes Vorrichtungen zu gebrauchen, die nur einen Teil der Lichtstrahlen zu messen gestatten, die unser Auge erregen, oder durch die außer diesen noch solche gemessen werden, die unter gewöhnlichen Verhältnissen nicht mehr als Licht empfunden werden. (Müller-Pouillet S. 25.) Zu diesen Vorrichtungen gehören besonders diejenigen, bei denen die Zersetzung von Silbersalzen als Maßstab zur Bestimmung der Helligkeit dienen soll. Diese Methode stammt von Bunsen und Roskoe; nach ihr hat Wiesener gearbeitet, und Ciesar hat auf ihr als Grundlage Formeln konstruiert, mit deren Hilfe man die Helligkeitsverhältnisse im Walde ermitteln soll.

Es ist bekannt, daß auf die gewöhnliche photographische Platte Rot, Gelb und ein Teil des Grüns gar nicht oder fast gar nicht wirken. Wenn also Silbersalze gegen diese Lichtstrahlen so unempfindlich sind, so ergibt sich von selbst, daß die zum Lichtmessen verwendeten Silberpapiere nur von bestimmten grünen, den blauen und violetten Strahlen geschwärzt werden können. Von den violetten Lichtstrahlen sehen wir aber einen großen Teil nicht mehr, und gerade diese zersetzen die Silbersalze besonders stark. Es hat sich aber bis jetzt nicht bestätigen lassen, daß diese Strahlen, die man ultraviolette nennt, einen besonderen Einfluß auf die Ausgestaltung der Pflanzen ausüben. Festgestellt ist, daß ein Teil der photographisch wirksamen Lichtstrahlen für das Pflanzenleben unentbehrlich ist; es steht aber ebenso sicher fest, daß ein Übermaß dieser Lichtstrahlen die Pflanzen schädigt und viele sogar tötet. An der Zerlegung der Kohlensäure, also an dem für uns Forstleute Wichtigsten, an der Holzproduktion, sind sie aber gar nicht beteiligt.

Das Auge ist nicht imstande, die verschiedenen Helligkeiten des Lichtes genau anzugeben; man hat deshalb Hilfsapparate konstruiert, die ihm diesen lichtmessenden Beruf erleichtern. Diese Apparate nennt man Photometer. Die gebräuchlichsten Photometer beruhen auf dem Prinzip, die Leuchtkraft anderer Lichtquellen auf eine Lichtquelle als Einheit zu beziehen. Als solche Einheit gilt neuerdings die Hefnerlampe (d. i. die 40 mm hohe Flamme

einer mit Amylazetat gespeisten Lampe). Derartige Apparate können wir im Walde natürlich nicht gebrauchen. Das Mitführen einer solchen Normallampe und der dazu gehörigen Vorrichtungen würde in vielen Fällen sogar unmöglich sein. Wir können die indizierte Helligkeit in unseren Beständen nur dadurch messen, daß wir Instrumente anwenden, die es ermöglichen, durch eine nach der Helligkeit verschiedene Einstellung das durch sie nach unserem Auge gelangende Licht auszulöschen, und die dann gleichzeitig angeben, bei welcher indizierten Helligkeit diese Auslöschung erfolgt ist. — Die Firma R. Fueß in Steglitz und besonders der Leiter der optischen Abteilung der dieser Firma gehörigen Werkstätten, Herr C. Leiß, haben sich auf meine Anregung hin in dankenswerter Weise der Aufgabe unterzogen, kleine leichte und für den Gebrauch im Walde bequeme Photometer zu konstruieren, die hier kurz beschrieben werden sollen.

12. Das Rauchglasphotometer. Es ist das einfachste dieser Instrumente und beruht auf dem Prinzip, durch Verschieben eines Keiles aus schwarzem Glase vor der Pupille des Auges festzustellen, bei welcher Stellung des Keiles eben Dunkelheit eingetreten ist. — Das Instrument besteht aus einem 87 mm langen leichten Metallrohr von 26 mm Durchmesser. In dem, dem Auge abgewendeten Ende, das wir das Objektende nennen wollen, befindet sich eine dünne Milchglasscheibe, auf die ein schwarzes Kreuz gemalt ist. Dies Kreuz sieht man von dem dem Auge zugewendeten, dem Okularende durch das enge Loch einer hier befindlichen Blende. Da die normale deutliche Sehweite des Menschen 250 mm beträgt, würde der Abstand der Milchglasscheibe vom Auge ebensoviel betragen müssen, um das Kreuz deutlich zu sehen. Ein Instrument mit einem so langen Rohr würde aber unhandlich sein, deshalb ist vor der Blende, nach dem Auge hin, eine Sammellinse angebracht, deren Brennweite so groß ist, daß, durch sie gesehen, das schwarze Kreuz auf weißem Grunde deutlich erscheint. Vor der Blendenöffnung sind im Rohr seitliche Schlitze angebracht, durch die man einen mit einer Einteilung versehenen Rauchglaskeil derartig senkrecht zur Rohrachse verschieben kann, daß das schwarze Kreuz verschwindet. Die Ablesung auf der Skala des Keiles gibt dann die indizierte Helligkeit nach von Hefner-Alteneck an. Um den Rauchglaskeil nicht zu lang machen zu müssen, kann vor ihn, nach der Objektseite zu, noch eine Rauchglasplatte von

bestimmter Stärke und bekannter Lichtauslöschung geschoben werden. Reicht also die Lichtauslöschung des Keiles nicht aus, so wird durch einen Druck auf den Halter der Platte diese in die optische Achse des Instrumentes gebracht und die vollständige Lichtauslöschung durch Verschieben des Keiles bewirkt. Die Ablesung am Keil zum konstanten Wert der Platte addiert, gibt dann die indizierte Helligkeit an. Um das von oben und seitwärts in die Bestände einfallende Licht von einem Standpunkte aus bequemer und genauer messen zu können, kann an das Objektende des Rohres ein total reflektierendes Prisma aus lichtdurchlässigstem Borsilikatglas angesteckt werden, das das Licht ohne merklichen Verlust an Helligkeit auf die Milchglasscheibe reflektiert.

Beim Arbeiten mit diesem Instrument wird wie folgt verfahren: Man stellt sich zunächst auf eine freie Stelle und bestimmt die indizierte Helligkeit des senkrecht von oben einfallenden Lichtes nach Hefnerkerzen. Da der Keil zur vollständigen Lichtauslöschung nicht ausreichen wird, so wird zunächst die Platte vorgeschoben, deren Auslöschungswert = 15 Normalkerzen sein mag. Durch schnelles Verschieben des Keiles erreicht man zunächst Dunkelheit; bei längerem Hineinsehen in das Instrument wird das schwarze Kreuz aber wieder schwach sichtbar, weil sich das Auge an die Dunkelheit gewöhnt hat. Würde man nun den Keil noch weiter verschieben, bis das Kreuz wieder verschwindet, so würde man falsche Resultate erzielen, da die Keilstärke empirisch so ermittelt ist, daß sie die auf der Skala verzeichneten Helligkeitswerte in der Stellung angibt, bei der bei flüchtigem Hineinsehen in das Instrument eben Dunkelheit eingetreten ist. Man tut deshalb gut, durch wiederholtes Absetzen und Verschieben des Keiles diese Stellung zu ermitteln. Bei einiger Übung verursacht dies nicht die geringsten Schwierigkeiten und die Meßergebnisse verschiedener Personen weichen nur wenig voneinander ab. — Nehmen wir an, die Ablesung an der Skala des Keiles hätte 10 Normalkerzen ergeben, dann würde diese, zu den 15 der Platte hinzuaddiert, eine indizierte Helligkeit von 25 Normalkerzen ergeben. Nun begibt man sich in den zu untersuchenden Bestand und mißt an verschiedenen Stellen das senkrecht oder seitlich einfallende Licht, wobei man natürlich vermeiden muß, größere Lücken, durch die unzerstreutes Licht einfällt, anzuvisieren. Das mittlere Messungsergebnis möge 20 Normalkerzen betragen, die indizierte Helligkeit im Bestande verhält sich demnach zu der

im Freien wie 20 : 25, sie beträgt $\frac{20}{25} = 80\,\%$. Es würden also 20 % aller sichtbaren Lichtstrahlen vom Bestande zurückgehalten worden sein.

Da das Sehen mit den Augen etwas Subjektives ist, so muß natürlich auch das Messen mit Photometern mehr oder weniger subjektive Ergebnisse liefern, besonders hier, wo ja schon die Ermittlung der Keilstärke auf subjektiven Beobachtungen beruht. Auch darf nicht übersehen werden, daß nur die Instrumente gleiche Resultate geben können, bei denen die Blendenöffnung — die sog. Austrittspupille — gleich weit ist. Diese muß im Verhältnis der Augenpupille eng sein, da die Helligkeit ausgedehnter Flächen, wie der Himmel eine ist, proportional mit der Pupillenfläche wächst. Wollte man die Öffnung der Austrittspupille so groß machen wie die der bei Dunkelheit stark erweiterten Augenpupille, so würden allerdings derartige Instrumente alle gleiche Meßresultate ergeben; sie würden aber viel weniger handlich sein. Außerdem gibt die Umrechnung der indizierten Helligkeiten in Prozente die Möglichkeit, die mit verschiedenen Instrumenten gemessenen Helligkeiten miteinander zu vergleichen.

Das messende Prinzip des Rauchglasphotometers beruht auf der Voraussetzung, daß Rauchglas Strahlen aller Farben gleichmäßig im Verhältnis seiner Stärke auslöscht. Dies trifft nun allerdings nicht ganz zu; die Rauchgläser, die mir zur Verfügung standen, zeigten eine ganz deutliche stärkere Absorption im mittleren Rot als in den übrigen Farben. Da dies Rot aber im Bestande schon durch die grünen Blätter zum größten Teil absorbiert ist, kann diese Eigenschaft des Rauchglases als störend nicht empfunden werden. Vorzüge des Rauchglasphotometers sind seine Kleinheit und die Möglichkeit, mit ihm schnell und ohne Tabellen messen zu können.

13. Das Polarisationsphotometer. Für feinere und besonders wissenschaftliche Arbeiten bestimmt ist das sog. Polarisationsphotometer. Es besteht aus einem Metallrohr von genau denselben Abmessungen, wie sie beim Rauchglasphotometer (12) angegeben worden sind. Eine Milchglasscheibe mit schwarzem Kreuz ist zum gleichen Zwecke wie bei diesem vorhanden, eine Sammellinse verkürzt die Sehweite und die Austrittspupille ist klein. Die

Auslöschung des Lichtes geschieht aber hier durch zwei sogenannte Nicolsche Prismen, von denen das eine mit dem Rohre fest verbunden, das andere in diesem aber drehbar ist.

Durch ein Nicolsches Prisma gehende Lichtstrahlen werden bekanntlich linear polarisiert, d. h. nur die in zueinander parallelen Ebenen schwingenden Lichtstrahlen werden durchgelassen. Die Lage dieser Ebenen bestimmt sich nach den optischen Achsen des Kalkspatkristalls, aus dem das Prisma gefertigt ist. Sind die Ebenen beider Nicolscher Prismen des Instrumentes zueinander parallel gestellt, so gehen die Lichtstrahlen, die durch das eine Prisma gegangen sind, auch ungehindert durch das zweite. Bilden aber die Schwingungsebene des einen und die des anderen einen Winkel, so löschen sie sich aus, und zwar sind die Helligkeiten des von den Prismen durchgelassenen Lichtes proportional den Cosinusquadraten der Winkel, die die Schwingungsebenen miteinander bilden. Sie sind also am größten bei 0° und am kleinsten, d. h. = 0, bei 90°, wenn die Ebenen aufeinander senkrecht stehen. Es würde zu weit führen, den mathematischen Beweis für diese Erscheinung zu geben; wer sich für ihn interessiert, findet ihn im zweiten Band der neunten Auflage von Müller-Pouillets Lehrbuch der Physik und Meteorologie auf Seite 993. — Um den Winkel bequem messen zu können, ist an dem Rohrstück, das das feste Nicol enthält, ein Viertelkreisbogen von etwa 55 mm Radius angebracht, der von 0 bis 90 in volle Grade geteilt ist. Das drehbare Okularende mit dem in ihm festsitzenden zweiten Nicol ist mit einem Nonius versehen, der an der Kreisteilung läuft und eine Ablesung von $^1/_6$°, also von zehn Minuten gestattet. Das total reflektierende Prisma, das beim Rauchglasphotometer bereits beschrieben ist und für beide Instrumente verwendet werden kann, dient hier nicht nur zur Bequemlichkeit, sondern es depolarisiert auch noch das Licht vor dessen Eintritt in das Instrument. Bekanntlich ist das Licht, das vom Himmel reflektiert wird, immer teilweise polarisiert. Die Milchglasscheibe im Instrument hat zwar auch depolarisierende Eigenschaften, diese dürften aber vielleicht nicht in allen Fällen ausreichen, wenigstens nicht bei Bestimmung der indizierten Helligkeit im Freien, während das genügend zerstreute Licht im Bestande durch die diffuse Reflexion wohl immer schon hinreichend depolarisiert ist. Das Messen mit diesem Instrument, das übrigens auch sehr leicht und handlich ist, ist äußerst einfach. Man hält es ebenso, wie dies beim Rauch-

glasphotometer beschrieben ist und führt die Auslöschung durch Drehung des Okularteiles herbei. Nachdem durch wiederholtes Absetzen und etwa erforderliches Vor- oder Rückwärtsdrehen, wobei die Einteilung gute Dienste leistet, da man mit deren Hilfe sehr geringe Drehungen ausführen kann, die Stellung ermittelt ist, bei der eben das schwarze Kreuz verschwindet, liest man an der Kreisteilung den Winkel ab, und eine Tabelle, die die Cosinusquadrate enthält, gibt dann die indizierten Helligkeiten an. Die dieser Schrift angehängte Tabelle I ist auf einen angenommenen Radius von 100 berechnet. Da die Schwingungsebenen der Nicols einen um so größeren Winkel miteinander bilden müssen, je mehr Licht ausgelöscht werden muß, je größer also die Helligkeiten sind, so gibt die Tabelle bei 90° die höchsten Werte an. — Im Sommer, einige Stunden vor und nach 12 Uhr mittags, beträgt die indizierte Helligkeit im Freien beinahe 100,0000; die Messungen im Bestande ergeben dann ziemlich genau die Helligkeitsprozente, ohne daß eine Umrechnung notwendig wird; bei genauen Messungen zu anderen Tages- und Jahreszeiten sowie bei trübem Wetter bestimmt man, wie beim Rauchglasphotometer beschrieben worden ist, die indizierte Helligkeit im Freien und im Bestande und berechnet die Prozente der letzteren.

Man wird vielleicht fragen, sind denn derartige anscheinend schwierige und umständliche Messungen notwendig oder überhaupt berechtigt? — Ihre Schwierigkeit und Umständlichkeit ist zunächst nur scheinbar; bei einiger Übung erfordert eine Messung nur wenige Minuten Zeit. Die Berechtigung ergibt sich ganz einfach daraus, daß jede wissenschaftliche Arbeit, die zur Vertiefung der Erkenntnis führt, an sich berechtigt ist; die Notwendigkeit leite ich davon ab, daß alle Durchforstungsversuche, die nun beinahe ein Menschenleben lang mit einem unendlichen Aufwande an Zeit, Geld und Arbeit angestellt werden, noch nicht zu dem Ergebnisse geführt haben, daß wir wissen, bei welcher Lichtstellung der größte und wertvollste Zuwachs erfolgt.

Wenn Schwappach (Prof. Dr., „Über die wirtschaftliche Bedeutung eines intensiveren Durchforstungsbetriebes". Zeitschrift für Forst- und Jagdwesen, 1905, S. 411) sagt: „Die Ergebnisse unserer bisherigen Versuche in dieser Richtung lassen sich bezüglich der vier Hauptholzarten: Kiefer, Fichte, Buche und Eiche in folgenden Sätzen zusammenfassen: Der Gesamtmassenzuwachs, Haupt- und Vornutzung zusammengefaßt, wird durch

intensivere Bestandespflege jedenfalls nicht gemindert (!!), sondern bei allen Holzarten, mit Ausnahme der Kiefer, bald mehr, bald minder gehoben. Für die Kiefer steht bis jetzt nur fest, daß der Gesamtzuwachs durch schärfere Durchforstungen keine Abnahme erfährt. Voraussetzung hierfür ist namentlich, daß die Durchforstungen rechtzeitig, d. h. noch in verhältnismäßig jugendlichem Alter eingelegt werden. Die Durchforstungen im starken Stangenholz oder gar im Baumholzalter vermögen bei den meisten Holzarten eine wesentliche Steigerung des Gesamtzuwachses nicht mehr herbeizuführen," so klingt das doch sehr stark wie eine Entschuldigung der starken Durchforstungen. —

Das Licht ist eine Energie, die uns in genügender Menge von der Sonne her kostenlos zufließt. Diese müssen wir uns dienstbar machen, indem wir ihr einen geeigneten Widerstand entgegenstellen, durch den sie gezwungen wird, sich in chemische Energie umzuwandeln. Dies kann nur dadurch geschehen, daß wir auf der vom Lichte bestrahlten Fläche, also auf dem Waldboden, eine genügende Menge von zur Energieumwandlung geeigneten grünen Pflanzenblättern schaffen. Ich sage absichtlich „geeigneten"; denn wir werden später noch sehen, daß die Fähigkeit, den Energiewechsel zu vollziehen, nicht nur nach Holzarten und Standort verschieden ist, sondern daß auch die räumliche Verteilung der einzelnen Bestandesglieder auf die Funktionsfähigkeit der Blattorgane, ihre Flächenentwicklung, und nicht zum wenigsten auf den Standort selbst einen gewaltigen Einfluß ausübt.

Nur durch das Messen der ungenutzt auf den Erdboden fließenden Lichtenergie kann man sich ein Urteil darüber bilden, wie viel von der uns zugestrahlten Gesamtlichtmenge zu chemischer Arbeit verwendet worden ist.

Das Verfahren, die für die Erzeugung des größten und wertvollsten Zuwachses günstigste Lichtstellung zu ermitteln, ist sehr einfach; man braucht nur in den zu untersuchenden Beständen an verschiedenen bestimmt bezeichneten Stellen das einfallende Licht mehrmals im Jahre und eine Reihe von Jahren hindurch zu messen und dann am Schlusse der Untersuchungsperiode mit dem Zuwachsbohrer den Zuwachs für jedes der Jahre, in denen Messungen stattgefunden haben, zu ermitteln. Ein Vergleich der verschiedenen Zuwachsleistungen mit den seinerzeit gefundenen mittleren Jahreswerten der indizierten Helligkeiten wird dann

die für den betreffenden Bestand günstigste Lichtstellung ergeben. Daß diese nach Holzart, Alter und Standort verschieden sein muß, ist selbstverständlich; denn die Fähigkeit das Licht auszunutzen ist nicht bei allen Pflanzen und auf allen Standorten gleich. Ferner ist die Bestandshöhe, wie schon erwähnt, von großer Bedeutung, und zwar für den Jungwuchs in Verjüngungsschlägen direkt und für den Abbau der auf dem Boden befindlichen organischen Reste, also die Humusbildung, indirekt, wie später noch näher ausgeführt werden wird. Zur Humuszersetzung und zur Bindung des Luftstickstoffes im Bestande ist es unbedingt notwendig, daß eine genügende Menge von Wärme und Licht in diesen einfallen; ein Zuviel schadet aber und kann beide Prozesse zum Stillstand bringen. Der Spielraum zwischen Minimum und Maximum scheint nicht sehr groß zu sein, und unsere Aufgabe wird es sein, nicht nur diesen, sondern auch das Optimum zu ermitteln, und hierbei sollen uns wieder die Photometer helfen.

Ich bemerke hier ausdrücklich, daß ich es weder für notwendig noch für nützlich halte, dem Gebrauch von Photometern eine zu weite Ausdehnung zu geben; es wird ausreichend sein, wenn die Forstleute, denen daran gelegen ist, selbst festzustellen, ob sie ihre Durchforstungen richtig ausführen, in der bereits angegebenen Weise im Sommer *vor* und *nach* Ausführung ihrer Durchforstungen die beschriebenen Messungen vornehmen, sobald wir erst brauchbare Zahlen über die günstigsten Helligkeiten haben werden. Diese zu finden wird sich beinahe jeder Bestand eignen, ohne Rücksicht darauf, ob er durchforstet werden soll oder nicht, und gerade in der Möglichkeit, ohne erheblichen Aufwand an Zeit und ohne Kosten alle Helligkeiten auf ihre Zuwachsförderung zu prüfen, sehe ich einen besonderen Vorteil dieser Methode.

Wenn Untersuchungen zu einem praktischen Ergebnis führen sollen, so ist es gut, wenn sie möglichst vielseitig und vor allen Dingen miteinander vergleichbar sind. Bei den Arbeiten der forstlichen Versuchsanstalten auf dem Gebiete der Durchforstungen fehlte zunächst die Vielseitigkeit. Es konnten naturgemäß nur größere Flächen mit passender Bestandsumgebung und von sogenannter „normaler“ Beschaffenheit untersucht werden. Wie viele solche „normale“ Bestände aber haben wir, die wir in der Praxis stehen, zu durchforsten? Was versteht man überhaupt

unter normal? Doch das, was Regel ist. Welche Schwierigkeiten haben aber nicht die Versuchsanstalten gehabt, um überhaupt normale Bestände, für die sie sich einen ganz willkürlichen Begriff konstruiert hatten, zu finden! — Nun kommt die zweite Schwierigkeit. Es fehlt an einem Vergleichsmaßstab für den Grad der Durchforstung. — Stark, mittel und schwach mit den nötigen Kombinationen erscheinen als geeignete Bezeichnungen. Hier kommt nun das subjektive Moment hinzu: was versteht man unter stark, mittel und schwach? Man bildet Stammklassen: 1. Vorherrschende, 2. herrschende, 3. gering mitherrschende, 4. beherrschte Stämme und teilt die letzteren wieder in: 4a. zwischenständige, 4b. teilweise unterdrückte. Die Klasse 5, die ganz unterdrückten Stämme zerfallen wieder in: 5a. mit lebensfähigen und 5b. mit absterbenden oder abgestorbenen Kronen. — Der subjektiven Auffassung ist also hier weiter Tür und Tor geöffnet; denn es gibt überall bescheidene und anspruchsvolle Menschen, wie es eben so unter den Forstleuten Optimisten und Pessimisten gibt. Der eine wird einen Stamm in die 2. Klasse setzen, dem der andere vielleicht in der 4. einen Platz anweisen würde, und bei eingesprengten Eichen ist der Streit über die zugehörige Klasse an der Tagesordnung.

Unsere ganze Durchforstungslehre krankt daran, daß sie nicht berücksichtigt, daß in jeder Gemeinschaft von Lebewesen, zu denen doch unsere Waldbäume auch gehören, ebenso soziale Verhältnisse bestehen wie unter den Menschen. Es kann im Bestande nicht nur herrschende Stämme geben, die unterständigen müssen auch vorhanden sein. Sie dienen den herrschenden durch Zerstreuung und Zurückwerfung des Lichtes, und ihre Rolle als Bodenschützer ist vielleicht nicht weniger wichtig als die der herrschenden, an denen die Hauptholzproduktion erfolgt. Verfolgen wir doch einmal die historische Entwicklung eines Bestandes. Ein Buchenbestand z. B. entsteht durch Aufschlag; nicht alle Buchen sind befähigt, gleich kräftige Pflanzen zu erzeugen; die Klassenbildung beginnt deshalb schon in früher Jugend und dauert bis zum Abtrieb fort. Alle späteren Eingriffe, die auf einseitige Bevorzugung einzelner Klassen gerichtet sind, können nicht hindern, daß sich im Bestande immer wieder alle Stammklassen bilden, weil dies eben dem Naturgesetz entspricht. Aus diesem Grunde allein muß es verfehlt sein, den Grad der verschiedenen Durchforstungsstärken nach einer einseitigen Maß-

regel, wie es die Entnahme bestimmter Stammklassen ist, zu bezeichnen. Dies hat man wohl auch gefühlt und als weitere Vergleichsmaßstäbe Stammgrundflächen und Abstandszahlen gewählt. Auf den sogenannten normalen Probeflächen, die in Wirklichkeit unnormal sind, weil sie die Ausnahme und nicht die Regel bilden, mag das ja einen gewissen Wert haben: für die Praxis aber, für die die Arbeiten der Versuchsstationen ja doch eine brauchbare Grundlage geben sollen, sind sie wertlos. Wir dürfen nicht generalisieren, für uns ist jede der vielen Gruppen, die sich — in älteren Beständen besonders — immer herausbilden, ein besonderer Fall, der besonders behandelt werden muß. —

Ganz anders liegen die Verhältnisse, wenn man den bei verschiedenartigen Durchforstungen erzielten Zuwachs auf die indizierten Helligkeiten, bei denen er erfolgt ist, bezieht. Das subjektive Moment scheidet hier fast ganz aus, da die subjektiven Lichtempfindungen bei den meisten Menschen mit gesunden Augen ziemlich gleich sind. Besondere Probeflächen brauchen nicht ausgesucht zu werden, da alle Bestände etwas Gemeinsames und Vergleichbares, nämlich einen Zuwachs bei einer indizierten Helligkeit haben. Auch die schwierigen und langwierigen Massenermittlungen, die trotz aller Sorgfalt ungenau sind, fallen fort. — Wenn man aber weiß, daß in einem 80jährigen Buchenbestande auf zweiter Bodenklasse bei einer indizierten Helligkeit von x % der höchste Zuwachs erfolgt, dann kann man sich bei seinen Durchforstungen natürlich danach richten. Wenn der Bestand, was häufig der Fall sein wird, schon jetzt beinahe die erforderliche Helligkeit hat, wird man selbstverständlich nur wenig herausnehmen: ist die Helligkeit viel geringer, so wird man stärker eingreifen. — Wie man durchforstet, ob man Protzen, Zwiesel und schlechte Stammformen herausnimmt oder in regelmäßigen Beständen arbeitet, die Ergebnisse werden immer vergleichbar sein.

Ich vermeide es hier absichtlich, schon Zahlen für die in Beständen ermittelten indizierten Helligkeiten anzugeben, weil selbst eine größere Anzahl von Einzelmessungen nicht genügt, um Schlüsse aus ihnen zu ziehen, die so sicher sind, daß sie veröffentlicht werden könnten; so viel aber steht für mich schon fest, daß es in vielen Beständen zu hell ist, wenn es auch für unsere Augen schon recht dunkel zu sein scheint, und daß geringe Unterschiede in den gemessenen Helligkeiten schon von großem Einfluß auf den Zuwachs sind. —

Bisher haben wir uns mit dem Lichte als fließender Energie beschäftigt ohne Rücksicht darauf, aus was für Wellen dieser Lichtstrom zusammengesetzt ist; im folgenden werden wir uns mit qualitativen Untersuchungen über die Bedeutung und den Einfluß des Lichtes verschiedener Wellenlänge, aus dem das weiße Sonnenlicht zusammengesetzt ist, zu befassen haben.

14. Farbenzerstreuung und Brechung des Lichtes. — Ein starker Gewitterregen hat die ersehnte Abkühlung gebracht, die Wolken beginnen sich zu teilen und durch das wieder erscheinende Blau des Himmels brechen die Strahlen der schon tief stehenden Sonne. Sie treffen eine gegenüberliegende Wolkenwand, aus der noch Regen herniederfällt, und vor unseren Augen entsteht ein Regenbogen. In großartigem Maßstabe führt uns hier die Natur die Farbenzerstreuung des Lichtes vor Augen, die wir im kleinen an geschliffenen Edelsteinen und Glasprismen beobachten. — Wir sehen im Regenbogen sieben deutlich zu unterscheidende Farben: Rot, Orange, Gelb, Grün, Hellblau, Dunkelblau und Violett. Die Tatsache, daß das weiße Sonnenlicht aus verschiedenfarbigen Strahlen zusammengesetzt ist, interessiert jeden Gebildeten; für den Forstmann aber ist es von großer Wichtigkeit zu wissen, ob und welche physiologische Bedeutung die verschiedenen Lichtstrahlen im Pflanzenleben haben, da es seine Aufgabe sein muß, den Einfall des Lichtes nicht nur nach seiner Menge, sondern auch nach seiner Beschaffenheit zu regulieren.

Bei der Wichtigkeit und teilweisen Neuheit dieses Stoffes ist es notwendig, daß wir uns kurz die Lehren der Physik über diesen Gegenstand in Erinnerung bringen.

Als Newton (1669) entdeckte, daß das weiße Licht durch Zusammensetzung aus farbigem entsteht, und daß nur den farbigen Lichtstrahlen unabänderliche physikalische Eigenschaften zukommen, ahnte man wohl nicht, welche Bedeutung diese Entdeckung einst haben würde. Die Erkenntnis, daß das weiße Licht der Sonne aus sehr vielen Strahlen verschiedener Brechbarkeit besteht, von denen jede Art im Auge ihren ganz besonderen Farbeneindruck erregt, und daß die durch prismatische Zerlegung erhaltenen Farben unzerlegbar und unveränderlich seien, machte die Wunder der farbigen Welt dem Experiment zugänglich. Es gelang durch das Studium der Farbenzerstreuung, die im Mikroskop und Fernrohr so störenden farbigen Säume zu beseitigen und so mathematische dioptrische Instrumente herzustellen. Fraun-

hofer entdeckte (1814) im Sonnenspektrum, d. i. dem durch prismatische Zerlegung des Lichtes entstehenden Farbenbande, die nach ihm benannten Fraunhoferschen Linien, in denen er ein vorzügliches Mittel erkannte, die Farbensorten im Spektrum zu bezeichnen und scharf zu definieren. Erst Kirchhoff gelang es, die Bedeutung dieser Linien zu erforschen. Ihm und Bunsen glückte es, ein Verfahren auszubilden, die einfachen Bestandteile vieler Körper durch Beobachtung ihres Spektrums zu erforschen. Diese optische Untersuchungsmethode, die es gestattet, irgendein Licht auf seine Zusammensetzung zu prüfen, um daraus Schlüsse über die Natur der Körper zu ziehen, die das Licht ausgesendet oder verändert haben, heißt bekanntlich Spektralanalyse. Daß sie die feinste Untersuchungsmethode ist, die wir kennen, ist bekannt; es fragt sich nur, was kann sie uns Forstleuten nützen? — Es ist bereits erwähnt worden, daß die fließende Energie des Lichtes im grünen Pflanzenblatt Kohlensäure zerlegt und hierbei in latente chemische Energie umgewandelt wird. Wären an dieser Umwandlung alle Lichtstrahlen gleichmäßig beteiligt, oder wären es immer dieselben Lichtstrahlen, die diese Umwandlung bewirkten, dann müßte bei gleicher Blattfläche auf der Flächeneinheit auf allen Standorten und an allen Holzarten ein gleicher Zuwachs erfolgen. Dies ist, wie wir wissen, nicht der Fall. Es ist uns bekannt, daß zunächst die verschiedenen Holzarten und diese wieder auf verschiedenen Standorten verschiedene Massen erzeugen. Die ihnen in gleicher Zeit zufließende Lichtenergie muß also von ihnen verschieden verbraucht werden, ihre Blätter müssen verschiedene Wellen des Lichtes verschlucken, oder, wie der physikalische Ausdruck lautet, absorbieren, wenn das Gesetz der Erhaltung der Energie auch hier seine Geltung behalten soll. Diese Erwägungen führen zur Erörterung der Wellenlänge des Lichtes.

15. Wellenlänge und Schwingungszahlen. Am geläufigsten ist uns der Begriff Wellenlänge beim Schall. Das rührt daher, daß wir die Schwingungen eines tönenden Körpers unmittelbar wahrnehmen können, und zwar durch verschiedene Sinne. Wir fühlen, daß ein tönender Körper schwingt; wir sehen, bei tiefen Tönen wenigstens, die Wellenbewegung gestrichener Saiten und können deren Schwingungsform objektiv darstellen. Die Zahl der Schwingungen in der Zeiteinheit ist eben so klein, daß wir uns

von ihr noch eine Vorstellung machen können. Die Schwingungen z. B. vom Subcontra-C betragen nur 16, vom dreigestrichenen C = 1024 und vom höchsten in der Musik brauchbaren Ton nicht mehr als 4000 in einer Sekunde, während die des Lichtes in der gleichen Zeiteinheit für das äußerste Rot = 395 Billionen und für das äußerste Violett sogar = 763 Billionen betragen. Da jede ganze Schwingung auch eine ganze Welle erzeugt, so müssen auf die Strecke, die der Schall oder das Licht in einer Sekunde zurücklegen, so viel Wellen gehen, als in der Sekunde Schwingungen stattfinden. Die Berechnung der Länge der Wellen ist also sehr einfach und ergibt, daß die Tonwellen relativ lang sind, die Lichtwellen aber unendlich kurz, denn die längsten Lichtwellen, die man ihrer Länge wegen nur ausnahmsweise sehen kann, sind nur 0,000812 mm lang. Der Einfachheit wegen drückt man die Wellenlängen des Lichtes in Milliontelmillimetern aus und bezeichnet diese mit $\mu\mu$. — Obwohl nun die Zahl der Lichtschwingungen für die Wirkung der verschiedenen Lichtstrahlen allein maßgebend ist, so bezeichnet man doch aus verschiedenen Gründen die Qualität des Lichtes durch Angabe seiner Wellenlänge, die für verschiedene Lichtarten bis auf vier Dezimalstellen eines Milliontelmillimeters genau gemessen worden ist. —

16. Ein Ton erscheint um so höher, je größer seine Schwingungszahl ist. Wie das Ohr die Häufigkeit der Schallschwingungen als Tonhöhe vernimmt, so empfindet das Auge die Häufigkeit der Lichtschwingungen als Farbe. Die Farbenfolge im Spektrum ist also eine Art Lichttonleiter, die vom tiefsten unserem Auge sichtbaren Rot über Orange, Gelb, Grün, Dunkelblau, Hellblau bis zum äußersten sichtbaren Violett ansteigt. Es besteht also eine Analogie in physikalischer Beziehung zwischen Lichtschwingungen und Schallschwingungen; zwischen den subjektiven Vorgängen, also den Farbenempfindungen und Tonempfindungen fehlt eine solche aber vollständig. Einfache Töne bringen einfache, gemischte diesen Mischungen entsprechende gemischte Tonempfindungen hervor, während das bei den Farben nicht zutrifft. Das Auge ist hier, wie in vielen anderen Fällen wieder vollständig unzuverlässig; es kann nicht einmal unterscheiden, aus welchen der vielen möglichen Farbenmischungen Weiß entstanden ist. Dieser Mangel erschwert natürlich die Forschung sehr und zwingt uns zu besonderen Hilfsmitteln zu

greifen; er lehrt uns aber wiederum, wie vorsichtig wir auch in der Beurteilung dessen sein müssen, was wir wirklich mit unseren eigenen Augen gesehen haben.

Es ergibt sich eigentlich von selbst, daß ein Lichtstrahl, der in einer Sekunde bei gleich schneller räumlicher Fortbewegung eine oder mehrere Billionen Schwingungen mehr oder weniger macht als ein anderer, von diesem verschiedene Wirkungen haben muß. Wenn ein Lichtstrahl von bestimmter Schwingungszahl auf verschiedene Moleküle oder Atome wirken kann, so muß seine Wirkung nach der Beschaffenheit dieser Atome oder Moleküle verschieden sein, und umgekehrt werden auch bei gleichartigen Atomen und Molekülen nur gleichartige Lichtstrahlen eine gleiche Wirkung hervorbringen können. — Wenn wir einen Stock schräg ins Wasser halten, so erscheint er uns gebrochen. Er ist es nicht, wie wir wissen, sondern die Lichtstrahlen werden es, weil sie sich im dichteren Wasser nicht so schnell fortbewegen können als in der dünneren Luft. Werden also Lichtstrahlen, die schräg auf ein dichteres Medium fallen, in dem sie sich fortpflanzen können, das also durchsichtig ist, gebrochen, so ist es nach dem eben Gesagten eigentlich selbstverständlich, daß die Strahlen am meisten gebrochen werden müssen, die am schnellsten schwingen. Man nennt diese tatsächlich stärker brechbaren Strahlen mit Bezug auf ihre Wellenlänge kurzwellige Strahlen. Sie werden beim Durchgange durch einen Körper mit schrägen Flächen, z. B. ein Glasprisma, stärker gebrochen und haben in diesem dichteren Medium einen weiteren Weg zurückzulegen. Sie treten deshalb aus diesem nicht als das heraus, was sie bei ihrem Eintritt waren, als weißer Lichtstrahl, sondern in ein farbiges Band ausgebreitet, als sogenanntes Spektrum. Wir haben also im Prisma ein Werkzeug, die Lichtstrahlen nach ihren verschiedenen Wellenlängen und Schwingungszahlen zu zerlegen und diese für uns subjektiv wahrnehmbar zu machen.

Wollte man nun wissen, welche Lichtstrahlen von den grünen Pflanzenblättern zu chemischer Arbeit verwendet werden, so brauchte man also nur das weiße Sonnenlicht durch das zu untersuchende Blatt und nachher durch ein farbenzerstreuendes Prisma gehen zu lassen, und es müßten dann im Spektrum die Farben fehlen, die das Pflanzenblatt verbraucht hat. Sie müßten, da fehlendes Licht wie der Schatten als Dunkelheit empfunden wird, je nach dem stärkeren oder geringeren Verbrauch als hellere oder

dunklere Schatten im Farbenband erscheinen. — Könnte man ferner noch messen, von welcher bis zu welcher Wellenlänge dieser Schatten reicht, dann wäre das Rätsel gelöst, das über ein Menschenalter lang nicht nur den Gelehrten, sondern auch den denkenden Forstmann beschäftigt hat. Wir wüßten, ob es Licht- und Schattenholzarten gibt, oder ob diese Begriffe auch wieder rein subjektiv sind; wir würden feststellen können, wie der Standort auf die Fähigkeit einzelner Pflanzen wirkt, sich die Lichtenergie nutzbar zu machen, und was wir tun könnten, um durch künstliche oder natürliche Mittel den Standort zu verbessern. Wir würden ferner durch diese Art Spektralanalyse eine sichere Grundlage für die Ermittelung der Standortsgüte erhalten, die uns jetzt noch fehlt, könnten prüfen, für welche Standorte die einzelnen Holzarten geeignet sind; kurz, wir wären in den Stand gesetzt, einen großen Teil unserer wirtschaftlichen Maßregeln auf ihre Zweckdienlichkeit für die Erziehung unseres Waldes zu prüfen.

Von diesen Erwägungen ging ich aus, als ich an die Lösung dieser Aufgabe herantrat. Daß sie mir nicht ganz mißlungen ist, verdanke ich nicht zum kleinsten Teile Herrn C. Leiß. Was ein Forstmann von Physik und besonders Optik auf einer seiner Fachschulen lernen kann, ist nicht viel und reicht nicht aus, um wissenschaftlich arbeiten zu können. Viel Zeit, um das Fehlende nachzuholen, steht nicht zur Verfügung, besonders, wenn man ein unbequemes Revier zu verwalten hat. Ist man dann endlich so weit, daß man sich sagen kann, man würde dies und jenes feststellen können, wenn man die hierzu erforderlichen optischen Hilfsmittel hätte, dann muß man noch das Glück haben, jemanden zu finden, der sich für die Sache interessiert, sie versteht und Lust hat, ihr seine Kenntnisse und Arbeitskraft zu opfern. Dies Glück habe ich gehabt, und wenn meine Untersuchungen geeignet sind, die Erkenntnis über einzelne Vorgänge im Pflanzenleben etwas zu vertiefen, dann darf ich mir dies nicht allein zuschreiben.

17. Die Erkenntnis, daß wir in dem Prozesse der Assimilation der Kohlensäure die Quelle des gesamten organischen Lebens auf unserer Erde erkennen müssen, des Lebens, das seine Betriebskraft von der Sonne bezieht, verdanken wir Robert Mayer, dem Entdecker des Gesetzes der Erhaltung der Energie. In seinem 1845 in Heilbronn erschienenen Buche: „Die organische Bewegung im Zusammenhang mit dem Stoffwechsel“ schreibt er auf

Seite 37—38: „Die Natur hat sich die Aufgabe gestellt, das der Erde zuströmende Licht im Fluge zu erhaschen und die beweglichste aller Kräfte in starre Form umgewandelt aufzuspeichern. Zur Erreichung dieses Zweckes hat sie die Erdkruste mit Organismen überzogen, welche lebend das Sonnenlicht in sich aufnehmen und unter Verwendung dieser Kraft eine fortlaufende Summe chemischer Differenzen erzeugen. Diese Organismen sind die Pflanzen. Die Pflanzenwelt bildet ein Reservoir, in welchem die flüchtigen Sonnenstrahlen fixiert und zur Nutznießung geschickt niedergelegt werden." (Cit. n. Jost S. 157.)

Die ersten Versuche, die bezweckten zu erforschen, welche Lichtstrahlen die Kohlensäurezerlegung im Pflanzenblatt bewirken, rühren von Daubeny (1836) her, der Pflanzen hinter farbigen Gläsern wachsen ließ. Da man aber durch sie, wie durch farbige Lösungen, die sog. Lichtfilter, nur dann einfarbiges Licht erzielt, wenn sie sehr intensiv gefärbt sind und dann dementsprechend für das Gedeihen der Pflanzen zu wenig Licht durchlassen, so sind derartige Versuche unbrauchbar. Eine spektroskopische Untersuchung der benutzten Gläser und Lösungen scheint übrigens den Versuchen nicht vorausgegangen zu sein. So wird z. B. (Jost S. 155) ein Lichtfilter aus Kaliumbichromat erwähnt, von dem angenommen wird, daß er nur gelbes Licht durchlasse. Ich habe einen derartigen Filter zu photometrischen Zwecken benutzen wollen, ihn aber als unbrauchbar verwerfen müssen, als ich feststellte, daß eine drei Zentimeter starke kaltgesättigte Lösung von Kaliumbichromat alle Lichtstrahlen, deren Wellenlänge größer ist, als 560 $\mu\mu$, durchläßt, also außer den gelben noch die orangefarbigen und die roten. Daß durch eine solche Lösung alles gelb aussieht, rührt eben daher, daß Gelb optisch viel wirksamer ist als Rot, letzteres also scheinbar nicht vorhanden ist. Am gleichen Mangel leiden die Versuche mit dem sog. Spektrophor. In diesem Apparat wird das Licht durch einen schmalen Spalt auf ein Prisma geworfen und von diesem in seine Farben zerlegt. Von dem so entstandenen Farbenbande blendet man die Lichtstrahlen ab, die man von der Pflanze abhalten will und stellt die Wirkung der durch die Blende auf die Pflanze fallenden Strahlen fest. Durch dies Verfahren erhält man kein reines Spektrum, wenn man den Spalt weit genug macht, um der Pflanze das Leben zu ermöglichen; bei genügend engem Spalte ist aber das Licht so schwach, daß keine Pflanze bei ihm gedeihen kann. Die Reinheit des

Spektrums ist nämlich umgekehrt proportional der Breite des Spaltes, der bei guten Spektralapparaten bis auf $^1/_{100}$ mm verengt werden kann, und die Helligkeit der Spektralfarben ist wieder umgekehrt proportional der Reinheit des Spektrums.

Man versuchte weiter die Absorption des Lichtes im Blattgrün dadurch festzustellen, daß man es durch Alkohol, Äther und Benzin löste und diese Lösungen in Schichten von verschiedener Dicke untersuchte. Interessant ist es, wie man diese Lösungen herstellte. Es wird empfohlen, entweder Blätter, die den Farbstoff leichter abgeben, oder gar getrocknete Blätter zu verwenden. (Müller-Pouillet S. 357.) Kraus (1872) und Pringsheim (1874) haben Blattgrünlösungen untersucht, letzterer in Schichten von 10 bis 374 mm Dicke. Daß derartige Untersuchungen an dem von der Pflanze gewaltsam getrennten und zweifellos chemisch veränderten Blattgrün keinen Einblick in das Leben der Pflanze geben konnten, ist eigentlich selbstverständlich.

Je nach der Dicke der untersuchten Schicht, der Natur des Lösungsmittels und der Verwendung verschiedener Pflanzen zur Herstellung der Blattgrünlösung erhielt man verschiedene Spektren, denen allen nur das gemeinsam war, daß die Lösungen in Alkohol und Benzin einen tiefschwarzen Absorptionsstreifen im mittleren Rot zeigten. Außer diesem sind, je nach der Dicke der Schicht, noch 5—6 schmälere oder breitere schattenartige Bänder, die über das ganze Spektrum verteilt sind, zu sehen. Es wird deshalb noch jetzt gelehrt, „das Chlorophyll hat 6—7 Absorptionsstreifen im Spektrum". — Ich übergehe die verschiedenen Ansichten über die Lage des Hauptmaximums bei der Absorption, da sich die abweichenden Ergebnisse der Untersuchungen leicht daraus erklären, daß man eben verschiedene Pflanzen verwendete, deren Fähigkeit zu assimilieren verschieden groß war. Wer sich näher über dies äußerst interessante Gebiet orientieren will, der sei auf Jost, S. 126—160 verwiesen.

Nachdem sich nun so viele Fachleute so lange Zeit vergeblich mit diesem Gegenstande beschäftigt hatten, wäre es für mich als Forstmann, der sich doch naturgemäß mit Pflanzenphysiologie nur so weit beschäftigt, als er sich von ihr einen Nutzen für die forstliche Praxis versprechen kann, vermessen gewesen, an die Lösung dieser Frage heranzutreten, wenn mir nicht zweierlei Aussicht auf Erfolg verheißen hätte. Es ergibt sich nämlich aus physikalischen Gründen mit zwingender Notwendigkeit, daß es nur die

roten Lichtstrahlen sein können, die die Assimilation bewirken, und die neuere Glastechnik stellt uns in den sog. Jenenser Gläsern ein Material zur Verfügung, mit dessen Hilfe auch das rote Ende des Spektrums einer leichten Untersuchung zugänglich wurde.

Nach dem Gesetz der Erhaltung der Energie kann die verschieden große Assimilation nur durch Absorption verschiedener Lichtstrahlen bewirkt werden. Diese Lichtstrahlen dürfen, da sie anscheinend gleiche Wirkungen hervorbringen, sich in ihrer Schwingungszahl und Wellenlänge nicht sehr von einander unterscheiden. Daß also die Strahlen des ganzen Spektrums an der Assimilation beteiligt sein können, ist ausgeschlossen. Nun zeigen alle Lösungsspektra des Blattgrüns einen starken schwarzen Streifen im Rot, während die übrigen nur schattenartige Bänder sind. Wenn Lichtstrahlen einen Körper treffen, der sie nicht vollständig reflektiert oder durchläßt, sondern ganz oder teilweise absorbiert, so kann die den absorbierten Lichtstrahlen innewohnende Energie, wie wir wissen, nicht vernichtet werden, sie muß in irgendeiner Form wieder zum Vorschein kommen. Der häufigste Fall ist nun der, daß sie in Form von Wärme, d. h. nach der mechanischen Wärmetheorie, als lebendige Kraft der Bewegung der Moleküle und Atome erscheint. Die auffallenden sichtbaren Strahlen werden dann von dem erwärmten Körper als dunkle Strahlen, also mit vergrößerter Wellenlänge wieder ausgesendet. In anderen Fällen können aber auch die Atome und Moleküle eines Körpers durch auffallende sichtbare Lichtstrahlen veranlaßt werden, sofort Licht von anderer Brechbarkeit auszusenden, — eine Erscheinung, die man Fluoreszenz nennt.

In noch anderen Fällen wird die Energie der auftreffenden Ätherschwingungen zu chemischen Reaktionen aufgebraucht, es werden chemisch gebundene Atome von einander getrennt, oder es wird irgendeine andere chemische Energie hervorgebracht. Bei der chemischen Arbeit des Lichtes findet also ein Verbrauch an Lichtstrahlen statt, bei Wärmewirkung und Fluoreszenz nur eine Änderung in deren Wellenlänge.

Diese verschiedenen Wirkungen müßten im Spektrum auch unterschieden werden können, eine chemische also im Lichtverbrauch, der im lebenden Pflanzenblatt Assimilation, in der toten Lösung Zersetzung hervorruft, und sie müßte schon bei dünnen Blättern und dünnen Lösungsschichten sichtbar sein, während

diese für die chemisch nicht wirksamen Strahlen noch durchsichtig sein müßten. Daß dies zutrifft, beweist das Experiment. Nach den Pringsheimschen Untersuchungen findet eine Absorption im Rot schon in einer 10 mm dicken Blattgrünlösung statt, und erst von 42 mm Stärke an finden sich die drei ersten schwachen Schatten im Blau und Violett. (Nägeli und Schwendener, „Das Mikroskop" S. 439.) Die Lichtstrahlen, die diese Bänder, die mit der Dicke der Schicht breiter werden, und zu denen bei 72 mm noch zwei, bei 94 noch eins hinzutreten, verursachen, werden durch die Absorption lediglich in ihrer Wellenlänge verändert.

Daß Lichtstrahlen von höherer Schwingungszahl in einem dichteren Medium viel leichter der Absorption anheimfallen und in Wärmestrahlen umgewandelt werden, ist dem Physiker bekannt. Glas z. B. absorbiert die kurzwelligen Strahlen von einer bestimmten Wellenlänge an und eignet sich deshalb nicht zu Untersuchungen mit ultraviolettem Lichte. Auch die die Erde umgebende Atmosphäre läßt nur Strahlen von bestimmter Wellenlänge an durch; man photographiert deshalb Funkenspektra im luftverdünntem Raume, wenn man die Wirkung sehr kurzer Wellenlängen des Lichtes zur Darstellung bringen will. — Kinder halten gerne ihre Hand gegen die Sonne und freuen sich, wenn sie im durchscheinenden Lichte rot aussieht; sie glauben die Farbe des Blutes zu sehen und ahnen nicht, daß sie auf diese Weise das Sonnenlicht filtrieren. — Ein kieniger Ast im Brett sieht blutrot aus, wenn man durch ihn in die Sonne sieht; er läßt eben auch nur die langwelligen Strahlen hindurch, während er die kurzwelligen in Wärme umwandelt.

Sachs (cit. n. Nägeli und Schwendener S. 447) hat bereits im Jahre 1860 festgestellt, daß pflanzliche Gewebe die Eigenschaft haben, die brechbareren Strahlen in stärkerem Verhältnis zu absorbieren, und zu derartigen Versuchen einen Apparat konstruiert, den er analysierendes Diaphanoskop nannte. Es ist aber verkehrt, diese Eigenschaft, als Lichtfilter zu wirken, der pflanzlichen Gewebestruktur zuzuschreiben; es kann sich jeder leicht davon überzeugen, daß eine Elfenbeinplatte von 1 mm Dicke vor dem Spektroskop ebenso die kurzwelligen Strahlen zurückhält, und deshalb nur ein so schmales rotes Farbenband zeigt wie eine Kartoffelscheibe von 1—2 cm Stärke. Mit der organischen Struktur hat diese Erscheinung gar nichts zu tun.

Interessant ist übrigens, daß schon Kraus (n. Nägeli und Schwendener S. 447) die Beobachtung machte, daß die Absorptionsbänder —(?) des lebenden Blattes, verglichen mit denen einer Chlorophyllösung, sämtlich gegen das rote Spektrumende verschoben sind.

Eine Absorption der kurzwelligen Strahlen ohne chemische Umwandlung findet in der Natur in großartigem Maßstabe statt, wenn die Luft sehr reich an Feuchtigkeit ist und die Sonne tief steht, also am Morgen und Abend. Die Erscheinungen des Morgen- und Abendrotes beruhen zum größten Teile auf der stärkeren Absorption, die die kurzwelligeren Strahlen auf ihrem weiteren Wege durch die Erdatmosphäre erleiden, nebenbei aber auch auf ihrer durch die stärkere Brechbarkeit bedingten größeren Ablenkung.

Wenn nun schon der der verhältnismäßig niedrigen Temperatur auf unserer Erde entsprechende geringe Feuchtigkeitsgehalt der Atmosphäre unter Umständen ausreicht, um die Sonne blutigrot erscheinen zu lassen, wie mag dann das Sonnenlicht ausgesehen haben, als unsere Erde noch so viel Eigenwärme hatte, daß sie ständig von einer dichten Hülle von Wasserdampf umgeben war? Diese Frage ist nicht schwer zu beantworten; die ersten Lichtstrahlen, die das Dunkel der Dampfhülle zu durchdringen vermochten, mußten rot gewesen sein, und die ersten grünen Pflanzen, die auf der Erde bestehen wollten, mußten im roten Licht wachsen können. Sie mußten aus demselben Grunde komplementär gefärbt, also grün sein. — Dem Rot von einer Wellenlänge = 656,2 $\mu\mu$ entspricht nach Helmholtz' Ermittlungen das Grünblau mit 492,1 $\mu\mu$, dem Grüngelb das Violett als Komplementärfarbe, während das zwischen beiden liegende zentrale Grün eine aus Rot und Violett gemischte komplementäre Farbe hat. (Müller-Pouillet S. 651.)

R. E. Liesegang war es (Photochemische Studien. H. 2, S. 43), der zuerst (1895) auf diesen ursächlichen Zusammenhang zwischen der Farbe der Pflanzenblätter und der Lichtabsorption aufmerksam gemacht hat.

Einen weiteren Beweis dafür, daß selbst das Blattgrün in Lösungen nur rote Lichtstrahlen vorzugsweise absorbiert, ergibt sich aus dessen Fluoreszenz. — Betrachtet man eine in einem Gefäß mit vertikalen Wänden befindliche Blattgrünlösung von oben herab, während direktes Sonnenlicht von vorn auf die

Flüssigkeit fällt, so zeigt diese im durchgehenden Lichte schön grün gefärbte Flüssigkeit an ihrer Oberfläche eine höchst auffallende Färbung, sie leuchtet in blutrotem Lichte. Wir haben früher schon erfahren, daß durch die auffallenden Lichtstrahlen Atome und Molekühle von Körpern veranlaßt werden können, sofort Licht von anderer Brechbarkeit auszusenden, zu fluoreszieren. Mit einer derartigen Erscheinung haben wir es hier zu tun, die Blattgrünlösung fluoresziert blutrot. — Nun lehrt die Physik, daß jeder fluoreszierende Körper von derjenigen Strahlengattung am stärksten zum Selbstleuchten angeregt wird, die er am kräftigsten absorbiert. (Lommel S. 502 ff.) Untersucht man nach der Kundtschen Methode der gekreuzten Spektra die Blattgrünlösung, so bildet Rot den wesentlichsten Bestandteil, die anderen Farben sind sehr schwach, das blaue Ende fehlt ganz. Nach Pierres Untersuchungen des sekundären Spektrums gehört Blattgrün zu den einfach fluoreszierenden Substanzen; die Färbung seines Fluoreszenzspektrums ist seiner ganzen Ausdehnung nach dieselbe, wenn auch ungleich intensiv. (Müller-Pouillet S. 363 - 369.)

Diese Erwägungen waren für mich maßgebend, daß es nur rote Lichtstrahlen sein könnten, die die Assimilation im Pflanzenblatt bewirken; es fehlte nur noch der Beweis durch das Experiment. Die alten Methoden hatten nicht zum Ziele geführt, es mußte also eine neue gefunden werden, die es ermöglichte, das lebende Pflanzenblatt zu untersuchen.

18. Spektrometer. Die bisher zu spektroskopischen Untersuchungen verwendeten Instrumente, wie die Spektralokulare, Mikrospektroskope usw., litten besonders an folgenden drei Mängeln:

a) sie waren zu lichtschwach,

b) sie hatten für pflanzenphysiologische Untersuchungen eine zu geringe Farbenzerstreuung, und

c) sie besaßen keinen Meßapparat, der für diese Zwecke fein genug war.

Die Helligkeit des Spektrums ist abgesehen von Verlusten durch Absorption und Reflexion stets direkt proportional der Helligkeit der betreffenden Farben im Spektrum, der Breite des Spaltes und umgekehrt proportional der Länge des betreffenden Teiles des Spektrums. — Im Rot war das Spektrum der alten

Instrumente zu kurz: eine Verlängerung durch Vermehrung der Prismen wäre mit Lichtverlusten verbunden gewesen, die die Verwendung derartiger Instrumente ausgeschlossen hätte, und ein Arbeiten mit breiterem Spalte war des dadurch entstehenden unreinen Spektrums wegen ausgeschlossen.

Wenn die Intensität der Spektralfarben objektiv in derselben Weise geändert wird, so ändert sich jedesmal das langwelligere Licht am meisten in seiner Helligkeit. Diese Erscheinung ist unter dem Namen „Purkinjesches Phänomen" bekannt. Das rote Licht wird also bei einer Verminderung der Intensität, die durch das Dazwischenschieben eines Pflanzenblattes zwischen Lichtquelle und Spektralapparat eintritt, relativ dunkler als das kurzwelligere. Steigert man aber die Helligkeit der Lichtquelle, bis sie einen gewissen Grad überschritten hat, dann bleibt das Phänomen nicht mehr oder wenigstens nur sehr schwach bestehen, und die gleich hell erscheinenden Farben bleiben auch gleich hell, wenn man die Intensität ihrer Beleuchtung um denselben Betrag steigert. — Die Möglichkeit, die Intensität der Beleuchtung zu steigern, ist nun gegeben; man braucht nur durch Sammellinsen das Licht der Lichtquelle auf eine kleine Fläche zu konzentrieren, und wenn es dann noch möglich wäre, die Farbenzerstreuung der Prismen im roten Ende des Spektrums zu vergrößern, dann müßte das lebende Pflanzenblatt der Untersuchung zugänglich sein.

Die alten sog. Fraunhoferschen Glasarten hatten eine geringe Farbenzerstreuung. Sie beträgt für Rot und Orange, also den Teil des Spektrums, der zwischen den Fraunhoferschen Linien A′—D liegt (cf. Tafel III) beim gewöhnlichen Silikatflintglas nur 0,0103, während sie bei dem neuen, sog. Jenaer Glas S. 57, dem schwersten Silikatflint = 0,0277, also 2,7 mal so viel beträgt. Durch Kombination zweier Endprismen aus diesem Glase mit einem Crown-Glasprisma von sehr geringer Farbenzerstreuung erhält man also ein sog. gradsichtiges Prisma nach Amici von großer Farbenzerstreuung im Rot und relativ hoher Lichtstärke.

Ein derartiges Prisma wird in einem Rohr (*R* der umstehenden Figur) angebracht, das in *Sp* einen durch einen Ring *O* in seiner Breite verstellbaren Spalt besitzt. *LIII* ist eine achromatische Linse, die in einem verschiebbaren Ringe sitzt und durch den Knopf K_1 auf den Spalt scharf eingestellt werden kann. *P* ist eine runde Öffnung, die sogenannte Aus-

trittspupille, an die das Auge möglichst nahe gebracht werden muß. In dem Amicischen Prisma *a*, *b*, *c* bestehen die Endprismen a und c aus schwerstem Silikatflint, das Mittelprisma *b* aus leichtem Crown-Glas.

Stellt man sich nun mit dem Instrument, das sich auf einem hier nicht gezeichneten Beleuchtungsstativ befindet, so auf, daß das

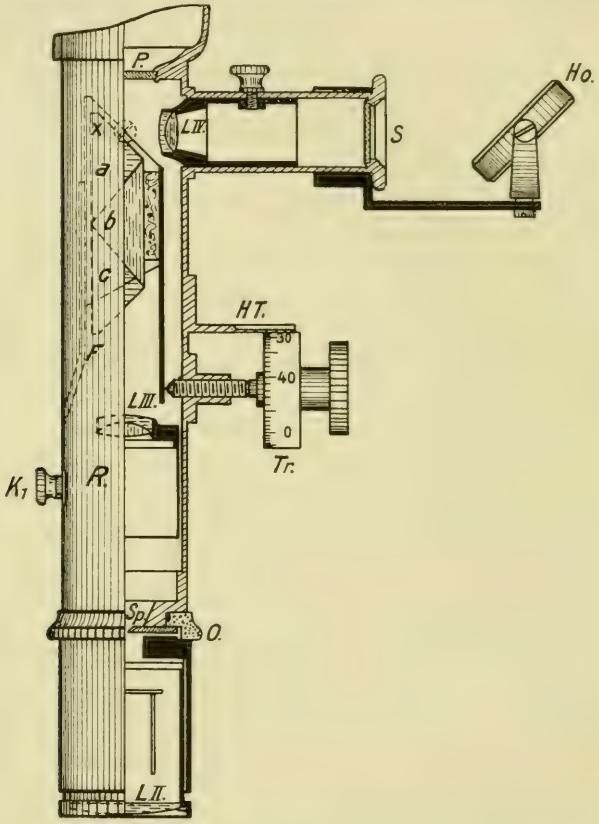


Fig. 1.

direkte Sonnenlicht auf einen Beleuchtungsspiegel fallen kann, und stellt diesen so, daß er das Licht durch eine Sammellinse auf die in einem Objekttische befindliche Spaltblende wirft, so gehen die Lichtstrahlen durch diese Blende und ein etwa über ihr auf dem Tische befindliches Pflanzenblatt und werden durch die Sammellinse *LII* wieder zu einem Lichtkegel vereinigt, dessen Spitze im Spalt *Sp* liegt. Die Linse *LII* muß möglichst nahe über

dem Pflanzenblatt liegen, weil die Lichtstrahlen bei ihrem Durchgange durch dieses sehr stark zerstreut werden. — Die Linse *LIII* entwirft von dem Spalte *Sp* auf der unteren Seitenfläche des Prismas *c* ein Bild. Dies Spaltbild wird durch das ganze Prisma *a b c* der verschiedenen Brechbarkeit der Lichtstrahlen entsprechend in unendlich viele Spaltbilder von verschiedener Farbe zerlegt, die sich zu einem kontinuierlichen Spektrum aneinanderreihen und als solches bei *P* gesehen werden. — Die Lichtstrahlen, die durch Metalldämpfe der Sonne oder die Erdatmosphäre verschluckt worden sind, können natürlich keine Spaltbilder entwerfen, sie bilden Lücken im Spektrum, die als dunkle Streifen, die sog. Fraunhoferschen Linien, erscheinen.

Legt man auf den Tisch über die Spaltblende ein Stück eines frischen Pflanzenblattes, das man, um die Lichtzerstreuung an seiner rauhen Oberfläche möglichst zu vermindern, zwischen zwei Glasplatten bringt, wie sie als Objektträger beim Mikroskop verwendet werden, klemmt diese mit den auf dem Tische angebrachten Klemmfedern leicht fest und stellt den Spiegel richtig, so gehen die durch die unterste Sammellinse vereinigten Lichtstrahlen durch das Blatt hindurch und verlieren hierbei alle Strahlen, die das Blattgrün verschlucken kann, und bei *P* sieht man ein Spektrum, dem ein Teil des roten Lichtes fehlt, das Farbenband hat im Rot einen schwarzen Streifen.

Jetzt fehlt nur noch eine Vorrichtung, die es ermöglicht, die Lage der Grenzen dieses Streifens zu bestimmen. — Nachdem ich vergeblich versucht hatte, mit Hilfe der sog. Ångstroemschen Skala, die beispielsweise bei dem Abbeschen Spektralokular zur Anwendung kommt und hier auf die oberste Prismafläche projiziert wird, die Wellenlängen des Absorptionsstreifens festzustellen, brachte mich die Beschreibung eines Spektralokulares von Sorby und Browning (Nägeli und Schwendener S. 39—41) auf den Gedanken, einen diesem Instrumente ähnlichen, aber viel feineren Meßapparat zur Anwendung zu bringen. Nach dieser Idee führte die Firma R. Fueß in Steglitz den Apparat aus, in der aus der Zeichnung auf Seite 44 ersichtlichen Form. — Ein Hohlspiegel *Ho*, der nach allen Seiten verstellbar ist, wirft das Licht auf eine bei *S* befindliche, auf einer Seite versilberte Glasscheibe. In die Silberschicht dieser Scheibe, die Signal heißt, sind zwei sehr feine Linien eingeritzt, die durch eine in einem kleinen Rohrstutzen befindliche achromatische Linse *LIV*, die in dem

Stutzen verschiebbar ist, um sie auf die Linien scharf einstellen zu können, auf die obere Prismafläche projiziert werden. Da die Linse nicht aplanatisch ist, so erscheinen diese Linien krumm. Um die dadurch entstehenden Meßfehler zu vermeiden, habe ich die auf dem Signal eingeritzten Linien z. T. mit schwarzem Lack abgedeckt. Sie erscheinen nun im Spektrum als sehr feine weiße Zeiger, auf deren Spitze eingestellt wird. Sorby und Browning benutzten bei ihrem Spektralokular ein durch eine Meßtrommelschraube verschiebbares Signal. Diese Einrichtung gestattete nur eine Teilung des Spektrums in 100 Teile. Um das Instrument stabiler zu machen und möglichst kleine Einheiten ablesen zu können, ist einem festen Signal der Vorzug gegeben worden, und statt des Signales wird das Prisma bewegt, und zwar ist es um den Punkt x drehbar. Durch eine Feder F wird das Rohr, in dem es befestigt ist, gegen die Spitze der Meßtrommelschraube Tr gedrückt. Diese Schraube hat eine Steigung von $^1/_4$ mm auf einer ganzen Umdrehung, und die Meßtrommel selbst ist in 50 Teile geteilt. Die Zahl ihrer vollen Umdrehungen wird an einer Hilfsteilung HT mittelst Lupe abgelesen. Dreht man an der Meßtrommel, so scheinen die beiden Linien im Spektrum zu wandern und zeigen bei einer bestimmten Meßtrommelstellung immer auf eine bestimmte Stelle im Spektrum. Zur Aufnahme des nun fertigen „Spektrometers“ dient ein Beleuchtungsstativ, das den schon erwähnten Tisch mit der Spaltblende, einen Spiegel und eine Sammellinse trägt. Letztere ist mit ihrer Fassung an der Stativsäule in vertikaler und horizontaler Richtung verschiebbar, um je nach der Dicke der zu untersuchenden Blätter das Licht auf einen Punkt konzentrieren oder auf eine größere Fläche ausbreiten zu können. Horizontale Verschiebungen dieser Linse sind unter Umständen notwendig, um mit schiefer Beleuchtung arbeiten zu können. Die Beleuchtung muß immer so stark sein, daß die zu untersuchenden Pflanzenblätter, zu denen natürlich auch die Nadeln der Bäume gerechnet werden, von oben gesehen als hellleuchtende grüne Punkte oder Streifen erscheinen. Daß die Spaltblende parallel zum Spektrometerspalt liegen muß, ist selbstverständlich. Nadeln legt man, damit an ihren Seiten kein Licht vorbeigehen kann, in eine der passenden Rinnen eines besonderen Objektträgers, mit dem man sie dann auf den gewöhnlichen gläsernen Objektträger legt, während man von Blättern genügend große Stücke zwischen zwei Glasplatten bringt. Nach-

dem man mit den Klemmfedern festgeklemmt hat, verschiebt man noch die Blattstücke nach Bedarf. Das in einem Halter befindliche Spektrometer bringt man nun möglichst nahe an das Pflanzenblatt und sucht durch Drehung des Halters in horizontaler Richtung die für die Beobachtung günstigste Stellung, in der man es durch eine Schraube fixiert. Wenn dann das Licht gut reguliert und der Spalt auf die richtige Breite eingestellt ist, so sieht man durch die meisten Blätter das Spektrum in seiner ganzen Ausdehnung mit vielen Fraunhoferschen Linien und einem schwarzen Streifen im Rot. Dieser Streifen ist bei dicken Blättern immer scharf begrenzt, bei dünnen muß man die Sammellinse aber oft bis dicht unter den Tisch schieben oder ganz nach der Seite bringen, weil das konzentrierte Licht zur Beobachtung zu hell und die Absorption im Rot nicht stark genug ist. Bei unbedecktem Himmel und direktem Sonnenlichte durchleuchtet man mit Leichtigkeit die dicksten Blätter und Nadeln; nur erscheint dann der kurzwellige Teil des Spektrums wegen der hier stattfindenden stärkeren Farbenzerstreuung und dieser entsprechenden geringeren Helligkeit dunkler. Man kann derartige dicke Objekte leicht durchscheinender machen, indem man die zu untersuchende Blattstelle auf ihrer Ober- und Unterseite mit einem Tropfen Glyzerin befeuchtet, das in den Apotheken mit der Nebenbezeichnung „purissimum“ käuflich zu haben ist. Durch die starke osmotische (wasseranziehende) Wirkung des Glyzerins tritt dann sofort Plasmolyse ein, d. h. die den Zellwänden anliegenden Protoplasmaschläuche ziehen sich zusammen und treten von den Zellwänden zurück. Die hierdurch bewirkte Aufhellung ist sehr bedeutend; notwendig ist sie nach meinen Erfahrungen aber nur bei Arbeiten mit künstlichem Licht. Vorzuziehen ist jedenfalls immer die Untersuchung trockner Objekte, obwohl das Glyzerin die Pflanze nicht schädigt, ja unter Umständen von einzelnen Pflanzen in Stärke umgewandelt werden kann.

Der Beweis, daß die lebenden grünen Pflanzenblätter nur einen Absorptionsstreifen haben und nicht sechs oder sieben, ist also erbracht; es bleibt nun noch zu beweisen, daß die verschiedenen Pflanzen, und diese wieder, wenn sie auf verschiedenen Standorten gewachsen sind, das Licht verschieden absorbieren, wie dies der ungleichen Massenerzeugung entspricht. — Dieser Beweis ist durch Messen der Wellenlängen des absorbierten Lichtes leicht zu führen. Um es aber zu können, muß man wissen, welche Wellenlängen

den einzelnen Meßtrommelstellungen entsprechen. Zu diesem Zwecke konstruiert man sich eine Wellenlängenskala, was äußerst einfach ist. — Es wurde schon erwähnt, das sich Fraunhofer das Verdienst erworben hat, festgestellt zu haben, daß die nach ihm benannten Linien unveränderliche Stellen im Spektrum einnehmen. Die Wellenlängen vieler dieser Linien sind nun sehr genau bestimmt; sie betragen für einige für unsere Zwecke wichtige in Millionteln von Millimetern:

Für	A, im Braunrot belegen	= 760
„	a, im Rot	= 718
„	B, dgl.	= 687
„	C, dgl.	= 656
„	D, im Orange	= 589
„	E, im Übergang von Gelb und Grün	= 527.

Man trägt nun, wie dies auf der dieser Schrift angehängten Längenskalentafel (Fig. 2) geschehen ist, diese Längen als Abszissen auf Millimeterpapier ein und ermittelt durch wiederholte Einstellung und Ablesung, bei welcher Meßtrommelstellung die Spitze des dem Rot nächsten Lichtfadenzeigers auf die Mitte der betreffenden Fraunhoferschen Linie fällt. Bei A und a ist dies etwas angreifend für die Augen, da hierzu das grellste Sonnenlicht erforderlich ist; die übrigen sind leicht zu finden. Die Meßtrommelablesungen werden, wie dies in dem Beispiel geschehen ist, als Ordinaten eingetragen. Zwischen B und C den Gang der Dispersion zu kennen, ist besonders wichtig, weil hier bei den meisten Pflanzen das Maximum der Absorption liegt. Da uns aber Fraunhofersche Linien als Marken fehlen, helfen wir uns mit dem sog. Emissionsspektrum des Lithiums. Irgendein Lithiumsalz, z. B. kohlensaures Lithium, wird in eine Weingeistflamme oder noch besser in die Flamme eines Bunsenschen Brenners gebracht. Die rote Flamme, die hierdurch entsteht, erzeugt, wenn man dafür sorgt, daß nur ihr Licht in das Spektrometer gelangt, ein fast dunkles Spektrum, in dem außer einer gelben eine leuchtend rote bei Wellenlänge = 670 erscheint, also ziemlich in der Mitte zwischen den Fraunhoferschen Linien B und C. Um den Lichtzeiger sehen und einstellen zu können, beleuchtet man das Signal, am einfachsten mit einer der bekannten kleinen elektrischen Taschenlampen. — Hat man die Ordinaten aller Linien eingetragen, so verbindet man deren Endpunkte und erhält so die Dispersions-

kurve. Diese ist eine ungleich ansteigende Linie, die uns zeigt, wie die Farbenzerstreuung mit der Brechbarkeit der Lichtstrahlen zunimmt. Weiter als zur Linie E braucht man für pflanzenphysiologische Zwecke die Längenskala nicht zu konstruieren: will man sie aber auch für das kurzwellige Ende des Spektrums haben, so benutzt man besser den zweiten Lichtfaden, um die Feder, die das Prisma gegen die Meßtrommelschraube drückt, nicht zu sehr anzustrengen. — Um sich jederzeit davon überzeugen zu können, ob die so konstruierte Längenskala noch richtig ist, empfiehlt es sich, das Instrument von Zeit zu Zeit zu eichen, besonders auf einer Reise, wo durch Stöße, denen es beim Transport ausgesetzt ist, Änderungen eingetreten sein können. Hierzu eignet sich besonders gut eine Spiritusflamme, in die man etwas Kochsalz tut. Es erscheint dann an Stelle der Fraunhoferschen Linie D eine helle gelbe Linie, die Natriumlinie, auf deren Mitte man einstellt. Etwa vorhandene Differenzen gegen die Ablesung, nach der die Skala konstruiert worden ist, müssen dann zugezählt oder abgezogen werden. (C. Leiß, Die optischen Instrumente. S. 28.)

Es ist schon erwähnt worden, daß man nur bei enger Spaltstellung ein reines Spektrum erhält, das auch zu pflanzenphysiologischen Arbeiten unbedingt erforderlich ist. Bei Sonnenlicht hat man an der Fraunhoferschen Linie einen guten Anhalt: bei künstlichem Licht fehlt dieser aber. Besondere Vorrichtungen, um die Spaltbreite zu messen, lassen sich zwar anbringen, würden aber das Instrument komplizierter und viel teurer machen. Außerdem kann man sich auf viel einfachere Weise helfen. Wenn man nämlich auf das Okularende *P* (cf. Fig.) des Spektrometers ein Deckgläschen, wie man es bei mikroskopischen Arbeiten verwendet, so legt, daß es beim Beobachten des Spektrums von der violetten Seite her die Pupille zur Hälfte bedeckt, dann erscheinen bei genügend engem Spalt im ganzen Spektrum dunkle Streifen, die durch Beugung des Lichtes entstanden sind. Sobald diese Streifen, die Talbotsche Streifen heißen, ganz deutlich zu sehen sind, ist der Spalt eng genug.

Haben sich an den Spaltschneiden Staubteilchen angesetzt, so machen sie sich besonders bei sehr enger Spaltstellung dadurch unangenehm bemerkbar, daß sie zu den Fraunhoferschen Linien senkrechte, das ganze Spektrum durchziehende Linien, die sog. Staublinien, verursachen. Nach Leiß (Optisch. Instrumente S. 19) benutzt man zu ihrer Beseitigung am besten ein mit scharfem

Messer keilartig zugeschnittenes hartes Hölzchen aus Evonymus europaea, mit dem man einige Male vorsichtig zwischen den geöffneten Spaltschneiden hin und her fährt.

19. Nun sind wir so weit, daß wir mit dem Spektrometer arbeiten können. Frische Zweige von verschiedenen Pflanzen haben wir uns verschafft, und wir legen nun entsprechend große Blattstücke zwischen zwei Gläschen und dann unter das Instrument. — Das erste Untersuchungsobjekt mag ein Eichenblatt sein. Der Baum, von dem es stammt, eine Stieleiche, steht in einem Garten auf gutem Lehm und hat wiederholt Kompostdüngung erhalten. — Der scharf auf die Grenze des im Rot sichtbaren schwarzen Streifens eingestellte Lichtzeiger ergibt eine Meßtrommelablesung von 2210. Nach unserer Tafel, die, wie hier ausdrücklich bemerkt wird, nur als Beispiel dienen soll, da bei jedem Instrument die zu den Ablesungen gehörigen Wellenlängen andere sind, und auch der Gang der Dispersion nicht bei allen Prismen gleich ist, entspricht dieser Fadenstellung eine Wellenlänge von 708 $\mu\mu$. Dann wird der Lichtfaden auf die dem violetten Ende zugekehrte Grenze des schwarzen Streifens scharf eingestellt und ergibt bei einer Meßtrommelstellung von 2029 eine Wellenlänge = 644 $\mu\mu$. Die Eiche absorbiert also die Lichtstrahlen von 708—644 $\mu\mu$ Wellenlänge; die Breite des Absorptionsstreifens beträgt demnach 64 ganze Wellenlängen.

Ein zweites Eichenblatt ist auf Sandboden gewachsen, sein Absorptionsstreifen liegt bei 681—642 $\mu\mu$, ist also nur 39 Wellenlängen breit, während eine dieser benachbarte Kiefer das Licht von 697—640 $\mu\mu$ = 57 Wellenlängen absorbierte.

Bisher habe ich 300 Blätter von verschiedenen Pflanzen und Standorten auf ihre Lichtabsorption untersucht und die Wellenlängen des von ihnen verbrauchten Lichtes gemessen. Wenn die Zahl dieser Messungen auch noch nicht ausreichend ist und besonders die Kiefern, von denen mir nur Nadeln von Bäumen, die auf gutem Boden gewachsen waren, zur Verfügung standen, ganz unvollständig untersucht sind, so habe ich doch in der angehängten Tafel (III) die Maxima und Minima der Lichtabsorption, wie ich sie nach meinen Messungen ermittelt habe, dargestellt, um zu zeigen, welche Unterschiede selbst bei verhältnismäßig geringen Standortsverschiedenheiten vorhanden sind. Um die Lichtabsorption auf allen Standorten festzustellen, wird allerdings eine bedeutend

größere Zahl von Messungen erforderlich sein. — Trotz der verhältnismäßig geringen Zahl von Messungen glaube ich aber doch schon folgende Schlüsse aus ihnen ziehen zu dürfen:

1. Die Breite des Absorptionsstreifens steht in direktem Verhältnis zur Massenerzeugung der betreffenden Pflanze. Hieraus folgt, daß
2. jedes Pflanzenblatt seine Massentafel in sich trägt, daß man ihm also die Güte des Standortes, auf dem es gewachsen ist, direkt ablesen kann.
3. Zunehmende Bodenfrische bewirkt vorwiegend eine Verbreiterung des Absorptionsstreifens nach dem langwelligeren Ende, also dem Braunrot zu.
4. Zufuhr von assimilierbaren Nährstoffen bewirkt ebenfalls eine Verbreiterung des Absorptionsstreifens, und man kann oft noch nach Jahren feststellen, ob aufgeforsteter Acker von der Zeit der Ackerwirtschaft her noch unverbrauchte Nährstoffe enthält.
5. Die langwelligeren Lichtstrahlen scheinen für die Assimilation die wichtigeren zu sein, sie werden auch am kräftigsten absorbiert. (Steigert man die Beleuchtung so stark, daß mehr Licht auf das Blatt fällt, als von ihm absorbiert werden kann, so bleibt selbst bei grellster Beleuchtung ein Absorptionsstreifen am langwelligsten Ende bemerkbar.)
6. Es gibt keine Licht- und Schattenholzarten, es gibt nur Lichtholzarten; aber die Fähigkeit der einzelnen Holzarten, das Licht auf verschiedenen Standorten zu absorbieren, ist verschieden. —

Es ist doch klar, daß eine Weißtanne mit einem Absorptionsstreifen von 91 Wellenlängen noch sehr gut unter einer Eiche, die das Licht nur mit 64 Wellenlängen absorbiert, gedeihen kann, besonders wenn die Eiche das Licht nicht einmal vollständig absorbiert.

Auf den Nutzen, den uns die spektrometrischen Messungen bringen werden, ist bereits auf Seite 36 dieser Schrift hingewiesen worden. Es wurde dort ausgeführt, daß uns diese Untersuchungsmethode die Möglichkeit geben würde, die Standortsklassen für jede Holzart schnell und sicher zu ermitteln, denn ihre Empfindlichkeit ist ganz außerordentlich groß. Die geringsten Standortsunterschiede, die wir mit unseren Augen gar nicht mehr wahrnehmen können, kommen im Absorptionsstreifen meßbar zum Ausdruck.

Ferner wurde die Erwartung ausgesprochen, daß wir mit Hilfe des Spektrometers würden bald prüfen können, welchen Einfluß wirtschaftliche Maßregeln, deren Folgen sonst erst nach Jahren sichtbar werden, auf unsere Bestände ausüben. Ich denke hier besonders an die Entwässerungen und starken Durchforstungen. Bei ersteren müßte sich ein schädlicher Einfluß durch Verschmälerung des Absorptionsstreifens vom langwelligeren Ende her bemerklich machen, bei letzteren durch eine allgemeine Verschmälerung.

Im Jahre 1902 entdeckte Ad. Mayer das sog. Gesetz des Minimums, das uns lehrt, daß der im Minimum vorhandene Nährstoff für die gesamte Größe der Produktion maßgebend ist. Eine zehnfache Kalidüngung nützt also nichts, wenn von einem einzigen wichtigen Nährstoffe, z. B. Schwefel, Phosphor, Stickstoff oder sonst einem, nur eine ungenügende Menge zur Verfügung steht. Das Nährstoffbedürfnis unserer Kulturpflanzen sucht man jetzt durch Aschenanalysen zu ermitteln. Diese sind teuer und zeitraubend und geben nur an, welche Stoffe die Pflanze aufgenommen hat, aber nicht, welche sie braucht. Schon das Vorhandensein vieler Stoffe in der Pflanze, die nachweislich keine Nährstoffe sind, sollte doch darauf hinweisen, daß zwischen Aufnahme und Bedarf kein bestimmtes Verhältnis besteht. Auf Seite 169 dieser Schrift ist dies an einem Beispiel näher ausgeführt worden. Es darf aber nicht übersehen werden, daß die Stoffe, die die Pflanze aufnimmt, ohne sie verwerten zu können, zur Aufstapelung in unschädlicher Form auch einen Energieaufwand beanspruchen, der für die Erzeugung organischer Substanz verloren ist. Wer daraus, daß bei einer Aschenanalyse große Nährstoffmengen in einer Pflanze gefunden worden sind, ohne weiteres schließen wollte, daß diese Pflanze besonders leistungsfähig gewesen ist, muß folgerichtig auch die dicksten Menschen für die kräftigsten halten.

Wir haben ferner Beweise, daß viele Pflanzennährstoffe, wenn sie im Übermaß durch die Nahrung dem tierischen Organismus zugeführt werden, diesen schädigen. Bekannt ist, daß die Anlage von stark mit Kalisalzen gedüngten Kunstwiesen trotz starker Beigabe von Phosphorsäure und Kalk in Form von Thomasmehl nicht den günstigen Einfluß auf die Gehörn- und Geweihbildung des Wildes gehabt hat, die man von ihr erwartete. Das Gegenteil ist aber recht häufig beobachtet worden. Ferner steht fest,

daß Kälber von Kühen, die mit Gras von stark gedüngten Kunstwiesen ernährt waren, häufig an Diarrhöe eingehen, und daß die an Kalisalzen reiche Melasse beim Vieh leicht Abortus bewirkt. Kali im Übermaß soll sogar ein Herzgift sein. — Darauf, daß Kalium im Boden unter Umständen alle übrigen Metalle, wie Kalzium, Eisen usw., verdrängen kann und sie so der Auswaschung überliefert, soll später noch zurückgekommen werden. Wenn also das Kalisyndikat G. m. b. H. in einer Schrift: „Beiträge zur Kenntnis der Kalidüngung im forstlichen Betriebe", Magdeburg 1905, und in dem Begleitschreiben zu dieser den Forstleuten den Vorwurf macht, in der Düngerfrage rückständig zu sein, so kann ich den Herren Verfassern nur raten, sich vorher etwas eingehender mit der Pflanzenphysiologie zu beschäftigen, wenn sie beabsichtigen, uns wieder einmal eine so lehrreiche Schrift ins Haus zu schicken. Durch vorübergehende Erfolge dürfen wir uns nicht blenden lassen: unsere Bäume haben ein langes Leben, sie wachsen langsam heran, und wirtschaftliche Fehler rächen sich oft erst spät, aber dann in der Regel um so nachhaltiger. Nur durch lange Erfahrungen Feststehendes oder wissenschaftlich sicher Begründetes könnte uns zu so eingreifenden Maßregeln veranlassen, wie die Kalidüngung im großen Forstbetriebe eine sein würde. Diesen Nachweis zu führen, sollte dem Kalisyndikat aber schwer werden, solange das Gesetz des Minimums seine Geltung behält. Bis dahin werden wir wohl die Kalidüngung auf Kämpe beschränken und sie auch da nicht einseitig, sondern in Verbindung mit Zufuhr anderer Nährstoffe anwenden. Im Maßhalten liegt auch bei der Zufuhr unentbehrlicher Pflanzennährstoffe die größte Weisheit: viel hilft nicht immer viel, und durch planloses Herumtappen, wie es jetzt so beliebt ist, sind noch nie wichtige Fragen gelöst worden.

Wenn also die Aschenanalyse, die sich naturgemäß immer nur auf eine verhältnismäßig kleine Anzahl von Untersuchungen beschränken wird, nur angeben kann, wieviel anorganische Nährstoffe in den untersuchten Pflanzen enthalten waren, so wird die Spektralanalyse vielleicht berufen sein festzustellen, wieviel von den einzelnen Nährstoffen die Pflanzen nützlich verwenden können. Eine vorteilhafte Nährstoffzufuhr findet in der Pflanze einen Ausdruck in der Verbreiterung des Absorptionsstreifens: durch sie wird für den treibenden Lichtstrom ein breiteres Bett geschaffen, in dem er in größerer Stärke fließen und dadurch

mehr organische Substanz schaffen kann. — Durch systematische Versuche müßte für die einzelnen Kulturpflanzen ermittelt werden, bei welcher Absorptionsstreifenbreite die vorteilhafteste Produktion stattfindet, und diese müßte man dann durch Düngung zu erreichen suchen. Die hierzu erforderlichen Nährstoffmengen würden sich unschwer ermitteln lassen, ebenso das Verhältnis, in dem sie den einzelnen Böden zugeführt werden müssen, da jede nützliche Nährstoffgabe eine Verbreiterung des Absorptionsstreifens bewirkt. — Dem Landwirte wird es nicht immer erstrebenswert sein, die Absorption bis zur äußersten Grenze zu steigern, da hierunter die Samenerzeugung leiden würde; wir Forstleute werden aber, da für uns die Produktion von Holz in der Regel Endzweck ist, eine möglichst große Absorption zu erreichen suchen. —

Es erschließt sich uns hier ein weites Arbeitsfeld, und es wäre zu wünschen, daß sich möglichst viele fänden, die zur Mitarbeit bereit sind. Einer allein kann nicht viel leisten, dazu ist sein Wirtschaftsgebiet zu klein, und je größer das Beobachtungsgebiet ist, um so schneller werden wir zu sicheren Ergebnissen kommen. Es wäre überhaupt zu wünschen, daß sich die in der Praxis Stehenden mehr mit der Lösung pflanzenphysiologischer Fragen beschäftigten; denn gerade die Praxis ist es, der wir die meiste Anregung verdanken.

Es kommen Fälle vor, in denen man gezwungen ist, bei künstlichem Licht zu untersuchen. Andauernder Regen oder bedeckter Himmel können das Sonnenlicht zu spektrometrischen Arbeiten ungeeignet machen; oft erscheint auch eine baldige Untersuchung der im heißen Sommer abgeschnittenen Blätter wünschenswert. Elektrisches Bogenlicht, das am geeignetsten wäre, steht den meisten von uns wohl nicht zur Verfügung; wir werden uns in der Regel mit Lampenlicht behelfen müssen. Erforderlich, um bei künstlichem Lichte arbeiten zu können, ist unbedingt ein Mikroskop mit einem Abbeschen Beleuchtungsapparat. Man verwendet zweckmäßig ein möglichst schwaches Mikroskopobjektiv und stellt auch mit einem schwachen Okular ein, nimmt dann das Spektrometer, bei dem man die Sammellinse, die eine zu kurze Brennweite hat, mit einer für diesen Zweck gefertigten von längerer Brennweite vertauscht hat, und gebraucht es wie ein Mikroskopokular. Man darf aber nicht scharf einstellen, weil dann den Staubstreifen ähnliche erscheinen, sondern bringt das Objektiv etwas näher an das Objekt. Die übrigen Arbeiten unter-

scheiden sich nicht von den bei Sonnenlicht vorgenommenen. Bei Untersuchungen sehr dünner Objekte, wie mikroskopischer Präparate, kann man natürlich beliebig starke Objektive verwenden. Das Untersuchen bei künstlichem Licht eignet sich besonders für Pflanzen mit schwacher Absorption. So kann man beispielsweise hiermit den Nachweis führen, daß die Cuscutaarten, zu denen die bekannte Kleeseide gehört, nicht ganz chlorophyllfrei, also keine vollkommenen Parasiten sind, sondern eine wenn auch schwache, so doch deutliche Absorption besitzen.

Nach meinen Messungen lag sie zwischen Wellenlänge 687 bis 653 $\mu\mu$, also beinahe zwischen den Fraunhoferschen Linien B und C.

20. Wir haben vorhin den Absorptionsstreifen mit dem Bett eines Stromes verglichen, in dem die Lichtenergie fließt. Will man eine Wasserkraft berechnen, so muß man den Querschnitt der Wassermenge und deren Geschwindigkeit kennen. Die Lichtgeschwindigkeit ist überall dieselbe; um vergleichbare Zahlen zu finden, braucht man also nur die Breite des Absorptionsstreifens und dessen Tiefe zu kennen. Nun ist die Stärke und Breite des Absorptionsstreifens abhängig von der Dicke und Konzentration des absorbierenden Mediums, in unserem Falle des Blattes und seines Gehaltes an Blattgrün. Die Breite des Absorptionsstreifens kann also schon als Maßstab für dessen Stärke gelten. Wenn trotzdem aber verhältnismäßig dünne und durchscheinende Blätter einen breiten Absorptionsstreifen haben, so liegt hierin kein Widerspruch, denn hier ändert sich eben nur die Intensität des durchgelassenen Lichtes mit der Dicke der Schicht. Steigen die Dicken in arithmetischer Reihe, so nehmen die Intensitäten in geometrischer ab, und der sog. Extinktionskoeffizient ist der Konzentration (— des Blattgrüns —) proportional. (Müller-Pouillet S. 317, 351, 352.)

Die Intensitäten des durchgelassenen Lichtes sind leicht zu messen. Nach Angaben des Bureau of Standarts (— Direktor Stratton —) in Washington stellt die Firma Fueß in Steglitz ein kleines Handspektrophotometer her, das sich leicht für derartige Untersuchungen ergänzen läßt. Das Instrument setzt sich, wie aus der nachstehenden Zeichnung ersichtlich ist, aus einem mit zwei polarisierenden Nikolschen Prismen (Glan-Tompsonscher Konstruktion) kombinierten Taschenspektroskop der gebräuchlichen

Art zusammen. Das eine dieser Nikols *N 1* — der Polarisator — ist in eine Hülse mit der drehbaren, von 2 zu 2 Grad geteilten Fassung *T* eingesetzt und befindet sich vor dem durch den geränderten Ring *Sp.* regulierbaren Spalt. *N 2* — der Analysator — ist fest hinter dem Spalt der Hauptröhre des Spektroskopes eingefaßt. Unmittelbar vor dem Spalt befindet sich die Öffnung *r* zum Eintritt der zu vergleichenden Lichtstrahlen. Ein die Hälfte des Spaltes verdeckendes kleines totalreflektierendes Prisma P_1 lenkt das bei *r* eintretende Licht, das durch ein außen befindliches ebensolches Prisma P_2 dorthin geleitet wird, in den Spalt. Bei *k* ist eine Gabel mit zwei Klemmfedern angebracht, durch die man das zu untersuchende zwischen zwei Gläschen liegende Blattstück festklemmen kann.

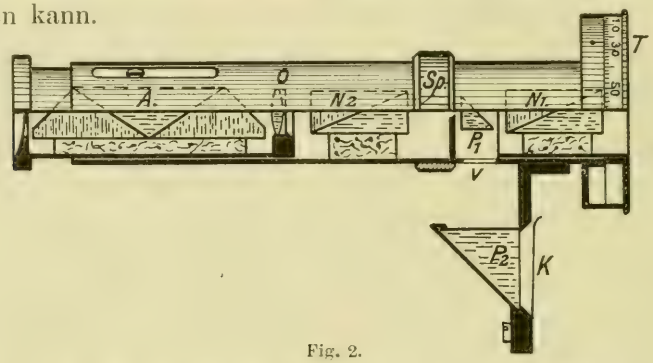


Fig. 2.

Der Gang der Untersuchung ist nun folgender: Man reguliert den Spalt durch den Ring *Sp.*, bis man eben ein reines Spektrum erhält. Das ausziehbare Rohr, das das zerlegende Amicische Prisma *A* enthält, wird dann durch Hin- und Herschieben in die Stellung gebracht, in der die Fraunhoferschen Linien am deutlichsten erscheinen, d. h. in der die achromatische Linse *O* auf den Spalt scharf eingestellt ist. Diese Stellung, die nach der Sehweite individuell verschieden ist, markiert man zweckmäßig an dem ausziehbaren Rohre durch einen feinen mit dem Messer gezogenen Strich. Die Gradeinteilung an dem Instrument, das mir vorliegt, ist derartig, daß die Schwingungsebenen der beiden Nikols bei 90 und 270 Grad parallel sind (cf. Nr. 13). Sieht man in einer dieser beiden Stellungen in das Instrument, so erblickt man zwei durch eine dunkle Linie getrennte gleichhelle Spektra. Dreht man aber die Fassung *T* nach irgendeiner Richtung, so werden die Farben des einen Spektrums nach und nach ausgelöscht, und zwar die, die am wenigsten hell sind, vom

roten und violetten Ende angefangen nach der Mitte hin. Bei 0 und 180 Grad ist das eine Spektrum am dunkelsten. Aus Gründen, deren Angabe hier zu weit führen würde, tritt eine totale Verdunklung nicht unter allen Umständen ein, auch wenn die Schwingungsebenen aufeinander senkrecht stehen. — Um das seitliche Eindringen von Lichtstrahlen, die die Beobachtungen beeinträchtigen könnten, zu verhindern, empfiehlt es sich, eine Gummihülse, wie sie bei den Zielfernrohren üblich sind, auf das Okularende des Instrumentes zu stecken. Klemmt man nun ein zwischen zwei Gläschen befindliches Pflanzenblatt so zwischen die Gabel *K* und das Prisma, daß die vordere Fläche dieses vollständig bedeckt ist, und sieht bei parallel gestellten Nikols gegen den hellen Himmel, so erscheint die Hälfte des Spektrums viel dunkler, deren Licht durch das Blatt hindurchgegangen ist, und zwar ist ein Teil vom Rot und Blau ganz verschwunden. Das Rot ist zum größten Teile absorbiert, das Violett und Blau gehen, wie schon erwähnt, durch grüne Pflanzenblätter nur zum Teil hindurch (cf. S. 38 ff.). Durch Drehen der Fassung T läßt sich die zweite Prismenhälfte so weit verdunkeln, daß die Auslöschung des Lichtes am lang- oder kurzwelligen Ende des Spektrums gleich der durch das Pflanzenblatt bewirkten ist. Die Helligkeiten verhalten sich, wie beim Polarisationsphotometer ausgeführt worden ist, wie die Kosinusquadrate der Schwingungsebenen; die im Anhang befindliche Tabelle ist also sinngemäß zu benutzen. Zu beachten ist aber, was (auf Seite 43) über das Purkinjesche Phänomen gesagt worden ist; auch muß darauf Rücksicht genommen werden, ob die Gradeinteilung bei parallelen oder senkrechten Schwingungsebenen der Nikols mit 0 Grad beginnt.

Wenn wir jetzt vergleichende Messungen an verschiedenen Blättern eines Baumes vornehmen, so finden wir, daß sie bei gleichbreitem Absorptionsstreifen verschieden stark absorbieren. Das ist eigentlich selbstverständlich; auffallend ist nur, daß nicht immer die dicksten Blätter es sind, die in der Absorption das meiste leisten. Wir kommen auf diesen Gegenstand später (Seite 75) noch zu sprechen. — Für Pflanzenphysiologen von Fach und für landwirtschaftliche Versuchsanstalten, die den Einfluß der Zufuhr verschiedener Nährstoffe feststellen wollen, wird das eben beschriebene Verfahren, vielleicht unter Anwendung feinerer Instrumente, nützlich sein; für uns ist es, wie wir später noch sehen werden, geeignet zu ermitteln, wie das Licht be-

schaffen ist, nachdem es durch die Kronen eines Bestandes hindurchgegangen ist.

21. Nachdem wir so festgestellt haben, welche Lichtstrahlen von den grünen Pflanzen absorbiert werden, müssen wir uns die weitere Frage vorlegen, was aus diesen Lichtstrahlen, die bei ihrer Absorption scheinbar in Dunkelheit verwandelt werden, wird, welche Wirkung sie hervorbringen und auf welche Weise sie es tun. — Wir wissen, daß das Licht im Pflanzenblatt Kohlensäure zerlegt, und daß wir diese Zerlegungsprodukte in Form von Zucker, Stärke, Holz usw. in der Pflanze vorfinden. Wie geht aber die Absorption vor sich?

Unsere Kenntnisse auf diesem Gebiete sind wesentlich erweitert worden durch die sog. „Elektrolytische Dissoziationstheorie". (Arrhenius 1888, Van't Hoff und Ostwald.) Sie hat eine wesentliche Änderung unserer Ansichten über Basen, Säuren und Salze herbeigeführt und unsere Anschauungen über die chemischen Prozesse vollständig umgestaltet.

Es ist längst bekannt, daß Salzlösungen durch den elektrischen Strom zerlegt werden. Schickt man z. B. durch eine Kupferchloridlösung einen elektrischen Strom, so scheidet sich am positiven Pol, „der Anode", das Chlor, am negativen, „der Kathode", das Kupfer aus. Nun behaupten die neueren Anschauungen, gestützt auf theoretische und experimentelle Gründe, daß nicht erst der Strom diese Sprengung der Salzmoleküle bewirke, sondern daß in genügend verdünnten Lösungen die Teilung sich schon aus freien Stücken vollzieht, daß in verdünnten Lösungen keine Salze, sondern ihre Bruchstücke, ihre „Ionen" sich finden. Unter diesen Ionen (— richtiger Ionten, „die Gehenden" —) hat man sich mit Elektrizität geladene Atome oder Atomkomplexe vorzustellen. So enthält eine Chlorkaliumverbindung keine festen Chlorkaliummoleküle, sondern die Ionen von Kalium und Chlor. Während nun freie Kali- bezw. Chloratome im Wasser sich nicht halten könnten, verändern die nachweisbar starken elektrischen Ladungen ihrer Ionen ihre chemische Affinität so, daß eben das Kaliumion das Wasser nicht so zersetzt, wie es das Kaliumatom ohne elektrische Ladung tut. Um jedes Ion kreist ein elektrischer Strom, und zwar um das positive ein entgegengesetzter gleichstarker wie um das negative, und beide halten sich dadurch das Gleichgewicht. — Nun zieht die

negativ geladene Kathode die positiven Ionen an und stößt die negativen ab, und die positiv geladene Anode zieht die negativen Ionen an und stößt die positiven ab. Durch diese Kräfte werden die Ionen in Bewegung gesetzt, sie wandern und geben an den Polplatten, den Elektroden, ihre Ladungen ab, und nur diese Entladung der Ionen veranlaßt den Strom. Positive Ionen sind die der Metalle und des Wasserstoffes, negative die des Chlors und der Säuren.

Ganz ähnliche Gesetze gelten für Basen und Säuren, und alle gebräuchlichen Reaktionen der anorganischen und zum Teil auch der organischen Chemie sind Ionenreaktionen. — Wir sehen, wie diese Anschauungen die alten Ansichten über chemische Verwandtschaft und die Natur der chemischen Prozesse von Grund auf umändern mußten, da es demnach nur Ionenwirkungen gibt.

Wir werden später noch erfahren, welchen Einfluß die dissoziierenden Stoffe im Pflanzenleben in bezug auf Steighöhe der

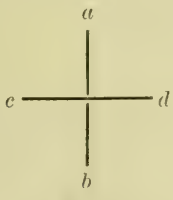


Fig. 3.

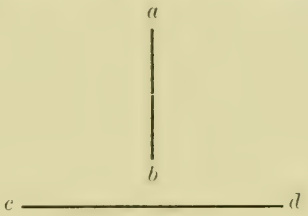


Fig. 4.

Säfte und das Erfrieren der jungen Pflanzenteile ausüben; jetzt wollen wir uns erst darüber klar werden, welche Rolle die Dissoziation bei der Assimilation des Kohlenstoffes durch die grünen Pflanzen spielt. — Es ist hier schon wiederholt von der Polarisation des Lichtes gesprochen worden. Jeder gewöhnliche Lichtstrahl besteht aus zwei senkrecht aufeinander stehenden Strahlen: *a*, *b* und *c*, *d* der vorstehenden Figur 3. Wir wissen schon, daß durch geeignete Vorrichtungen, z. B. ein Nikolsches Prisma, ein Lichtstrahl abgelenkt wird und der Absorption an der schwarzen Seitenfläche des Prismas anheimfällt. (*a*, *b* in Figur 4.) Nun besteht jeder Lichtstrahl *a b* und *c d* wieder aus zwei Lichtstrahlen, die entgegengesetzt kreisförmig schwingen, d. h. zirkular polarisiert sind, die aber, weil ihre Kräfte gleich sind, eine Schwingungsebene als Resultante haben. — Experimentell hat man in verschiedenen Stoffen durch sog. zirkulare Polarisation den Gang der Lichtstrahlen beobachtet, den sie ein-

schlagen, wenn diese Gleichgewichtslage gestört wird. Man ist hierdurch zu der Vorstellung gekommen, daß die Kurve, auf der die um ihre Gleichgewichtslagen rotierenden, einen zirkular polarisierten Lichtstrahl fortpflanzenden Ätherteilchen in einem bestimmten Moment liegen, eine um die geradlinige Fortbewegungslinie als Achse herumlaufende Schraubenlinie ist, für die die Höhe des Schraubenganges einer Wellenlänge gleich ist. (Müller-Pouillet S. 1139.)

Treffen nun diese Lichtstrahlen im Pflanzenblatt Ionen an, die, wie wir wissen, bestimmte elektrische Ladungen, d. h. Eigenschwingungen, besitzen, deren Schwingungsperioden mit denen gewisser Lichtwellen übereinstimmen, so wird die Energie dieser Lichtwellen von diesen Körpern am stärksten aufgenommen oder absorbiert werden, und diese Lichtart entspricht der des Absorptionsstreifens. Die Ionen werden also durch diese Lichtschwingungen im Gleichgewicht gestört, sie kommen zum Wandern und sind fähig, neue Verbindungen einzugehen. Die Rolle, die bei der Elektrolyse der elektrische Strom spielt, übernimmt also hier das Licht in der sog. Photolyse.

22. Bei nicht zu starker Beleuchtung der Spaltblende des Spektrometers wird man finden, daß der rote Teil des Spektrums nicht sehr weit sichtbar ist, oft noch nicht bis zur Fraunhoferschen Linie B. Stellt man nun den Lichtfaden auf die Grenze des sichtbaren roten Teiles ein und legt dann ein Pflanzenblatt unter das Instrument, so ist die Grenze der Sichtbarkeit weit nach der Linie A hin verschoben; es ist also zwischen dem Absorptionsstreifen und dem nicht sichtbaren Ultrarot noch ein roter Streifen an der Stelle sichtbar geworden, die vorher dunkel war. — Untersucht man ein sehr dickes Pflanzenblatt, wie eine Kiefern- oder Tannennadel oder ein Buchenkeimlingsblatt, wozu man allerdings das Licht sehr konzentrieren muß, so bemerkt man nach dem kurzwelligeren Ende eine entgegengesetzte Erscheinung; es machen sich hier dunkle Schatten bemerkbar, deren Ausdehnung ich bei

Abies	nobilis	bis	zu	einer	Wellenlänge	von	= 612 $\mu\mu$
„	concolor	„	„	„	„	„	= 614 „
„	nordmanniana	„	„	„	„	„	= 613 „
„	pectinata	„	„	„	„	„	= 588 „
Pinus	silvestris	„	„	„	„	„	= 619 „
Rotbuchenkeimling		„	„	„	„	„	= 612 „

gemessen habe, während am roten Ende des Spektrums wieder ein breiter roter Streifen an der Grenze der Absorption sichtbar war.

Diese Erscheinung nennt man „anomale Dispersion", und man beobachtet sie bei Stoffen mit starker auswählender Absorption. Sie liefert einen Beweis dafür, daß die Dispersionserscheinungen im engsten Zusammenhange mit der Absorption stehen, und erklärt sich dadurch, daß durch diese starke Absorption im Streifen die dem Absorptionsgebiet benachbarten Lichtarten in ihrer Fortpflanzungsgeschwindigkeit derartig beeinflußt werden, daß eine starke Erhöhung des Brechungsexponenten auf der roten, eine starke Erniedrigung dagegen auf der anderen Seite des Absorptionsgebietes eintritt. (Lommel S. 524.)

23. Wenn wir uns nun auch eine Vorstellung davon machen können, wie die mit entgegengesetzten, sie umkreisenden, elektrischen Strömen geladenen Atome oder Atomkomplexe, die Ionen, durch das sich im Pflanzenblatt schraubenförmig bewegende Licht im Gleichgewicht gestört werden und zum Wandern, also zum Eingehen neuer chemischer Verbindungen fähig werden, so bleibt immer noch die Frage offen, welche chemischen Verbindungen es sind, deren Ionen in Wirksamkeit treten. Einleuchtend ist, daß sie dissoziieren müssen.

Zerlegt kann im Pflanzenblatt nur die Kohlensäure H_2CO_3 werden, deren Strukturformel $= CO\begin{matrix}OH\\OH\end{matrix}$ ist, und nicht das Kohlendioxyd CO_2, das fälschlich allgemein Kohlensäure genannt wird; denn der Dissoziationsgrad einer Säure wird bestimmt durch deren Gehalt an freien OH-Ionen. Nun ist die freie Kohlensäure nur bei 0 Grad Wärme und 12 Atmosphären Druck beständig, sie zerfällt sonst sofort in Kohlendioxyd und Wasser (CO_2+H_2O). In der Luft kann also gar keine Kohlensäure enthalten sein, sondern nur Kohlendioxyd, das keine freien OH-Ionen hat, also auch nicht dissoziieren kann. Im Pflanzenblatt muß also freie, im Zellsaft gelöste Kohlensäure vorhanden sein. Mit der Herkunft dieser Kohlensäure wollen wir uns später noch befassen; ich will hier nur die Tatsache feststellen, daß die bisherige Annahme, daß das Licht im Pflanzenblatt Kohlendioxyd und Wasser zerlege, nach den neueren chemischen Anschauungen nicht mehr haltbar ist.

24. Die Kohlensäure ist nicht lichtempfindlich, sie kann also durch das Licht nicht direkt zerlegt werden; es muß vielmehr ein anderer Stoff sein, auf den das Licht wirkt, und die Zersetzung der Kohlensäure kann nur ein sekundärer Vorgang sein. Bekannt und unbestritten ist, daß das Blattgrün unentbehrlich für die Zerlegung der Kohlensäure ist; es bleibt nur noch zu ergründen, wie dieser Prozeß vor sich geht. Erleichtert würde uns die Erkenntnis, wenn wir wüßten, was für eine chemische Verbindung das Blattgrün ist. Unsere Kenntnisse hierüber sind aber noch vollständig unzureichend; wir müssen uns deshalb mit einem Versuch begnügen, zu ermitteln, welche chemischen Stoffe im Blattgrün wirksam sein könnten.

Ich will nicht unterlassen, hier ausdrücklich zu bemerken, daß die folgenden Ausführungen über diesen Gegenstand nur Hypothesen sind und so lange als solche angesehen werden müssen, bis das Experiment ihre Richtigkeit oder Unrichtigkeit beweist. Ich bin mir auch sehr wohl bewußt, daß man durch Hypothesen die Schwierigkeiten nicht behebt, sondern sie nur an einen anderen Ort verschiebt; aber sie sind doch oft geeignet, solange ihre Tatsächlichkeit noch nicht erwiesen ist, gewisse Lücken unseres Wissens auszufüllen.

Wir wissen, daß Eisen ein unentbehrlicher Nährstoff für die grünen Pflanzen ist. Lassen wir eine grüne Pflanze in eisenfreien Nährlösungen auskeimen, so treibt sie, sobald der etwaige Reservevorrat an Eisensalzen, die im Samenkorn enthalten waren, verbraucht ist, keine grünen Blätter mehr, sie wird bleichsüchtig (chlorotisch), ihre jungen Organe kommen weiß oder blaßgelb zum Vorschein und sterben bald ab. Setzt man der Nährlösung ein geeignetes Eisensalz zu, so ergrünen die Organe, die noch jung genug sind, nachträglich. Eisen ist also zur Blattgrünbildung notwendig. — Wir wissen ferner, daß die sog. Ferroverbindungen den Pflanzen schädlich sind, und unter den Ferriverbindungen gibt es nur zwei Salze, die grün sind, das oxalsaure Eisenoxydkalium und das oxalsaure Eisenoxydnatrium; alle übrigen sind anders gefärbt. Da beim Blattgrün Farbe und Absorption unzertrennlich voneinander sind, scheiden die anders gefärbten Eisensalze bei unseren Untersuchungen von selbst aus.

Wir wollen uns zunächst mit den chemischen Eigenschaften dieser Salze beschäftigen. Beide sind in der Photographie wohlbekannt; sie bilden smaragdgrüne Kristalle, die sich im Wasser

leicht lösen, und deren Lösungen, wie die Salze selbst, sich leicht in die entsprechenden Ferroverbindungen zersetzen, beim Stehen an der freien Luft aber wieder zu Ferrisalzen oxydiert werden. Nach Liesegang (Photochemische Studien, Heft 1, S. 5) würde man sich die Wirkung des belichteten Eisensalzes folgendermaßen vorzustellen haben: Das oxalsaure Eisenoxydkalium zerfällt im Lichte nach der Gleichung: $Fe_2(C_2O_4)_6 . K_6$ in $2\ FeC_2O_4 + 3\ K_2C_2O_4 + 2\ CO_2$, also in oxalsaures Eisenoxydul + oxalsaures Kali + Kohlendioxyd. Es findet zunächst also eine Oxydation der Oxalsäure statt, die dem Eisenoxydsalz zuzuschreiben ist, wie überhaupt schon Spuren von Eisenoxydsalzen die Oxydation organischer Substanzen, wie der Äpfel-, Wein- und Zitronensäure, zu Kohlendioxyd bei Belichtung bewirken, während die Verbrennung der reinen Säuren kaum merklich ist. (Liesegang H. 1, S. 6 und 7.) Liesegang hält es daher für kein verwegenes Unternehmen, wenn man die Kohlensäurereduktion durch die Pflanzen als eine Folge der Photolyse der hierbei so notwendigen Eisensalze darzustellen versuchte. Verschiedene chemische Prozesse liefern wenigstens einen Beweis für die stark reduzierende Wirkung der Eisenoxydulsalze. (Liesegang H. 1, S. 21—23 und 35.) Man müßte sich dann den Vorgang der Assimilation so vorstellen, daß das einmal reduzierte Eisenoxydul das Bestreben hat, sich wieder zum Oxydsalz zu oxydieren, und der Kohlensäure zu diesem Zwecke den Sauerstoff entreißt, durch die fortdauernde Lichtwirkung aber an der Vollendung der Oxydation gehindert wird. Das Eisensalz würde also hier die Rolle eines Sensibilisators spielen.

Die Photolyse des Eisens wäre danach der primäre Vorgang und die Photosynthese der Assimilationsprodukte ein sekundärer.

Sind die Liesegangschen Ansichten auch noch viel zu sehr hypothetisch, um sie als volle Wahrheit über das Wesen der Kohlensäurezerlegung ansehen zu können, so ist es doch dankbar anzuerkennen, wenn sich Spezialisten auf dem Gebiete der Photochemie auch mit pflanzenphysiologischen Problemen beschäftigen. Man wird aber auch Liesegang beipflichten müssen, wenn er im Vorwort des ersten Heftes seiner Studien sagt, daß der Botaniker nur dann weiter in der Erkenntnis der Pflanzenernährung, der Kohlensäureassimilation, vordringen kann, wenn er mit den photochemischen Prozessen in der leblosen Natur vollständig vertraut ist.

Die Liesegangschen Hypothesen haben viel Bestechendes, und sie würden uns die Bedeutung des Kalis und des Eisens im Pflanzenleben zum Teil erklären.

Es bleiben noch die optischen Eigenschaften der beiden Eisensalze zu untersuchen. Unter dem Spektrometer zeigen sowohl das Kali- wie das Natriumsalz dem Blattgrün ähnliche Absorption der roten Strahlen. Beide würden also an sich geeignet sein, den Blattfarbstoff zu bilden. Das Kalisalz ist, wie ich durch Belichtungsversuche festgestellt habe, viel lichtempfindlicher als das Natriumsalz. Es würde hiermit die Tatsache übereinstimmen, daß Natrium in der Pflanze das Kalium bis zu einem gewissen Grade, aber nicht vollständig ersetzen kann. — Eine anomale Dispersion habe ich auch nur beim Kalisalz, nicht aber bei der Natriumverbindung beobachtet.

Trotzdem nun die optischen und chemischen Eigenschaften der beiden Eisensalze derartige sind, daß wir uns eine Vorstellung bilden könnten, wie die Lichtenergie im Pflanzenblatt festgehalten wird, so müssen wir uns doch davor hüten, die Kohlensäureassimilation als einen rein chemisch-physikalischen Vorgang aufzufassen; dazu sind die Mengen, in denen Kali und Eisen im grünen Pflanzenblatt gefunden werden, viel zu gering. Außerdem findet die Bildung des Blattgrüns nur im Lichte statt, also nicht durch einen rein chemischen Vorgang. Wir werden deshalb unter allen Umständen dem Protoplasma eine wesentliche Mitwirkung bei der Assimilation zuschreiben müssen.

25. Wir haben gesehen, daß ein Teil der Strahlen des Sonnenlichtes im Pflanzenblatt verschwindet und hier chemische Arbeit leistet. Es dürfte nicht uninteressant sein festzustellen, wie groß die Kräfte sind, die hier umgesetzt werden, und welche Energiemengen erforderlich sind, um bestimmte Mengen bekannter Stoffe, wie Holz, Borke, Terpentin usw., zu erzeugen. Die forstliche Statik, die nach Hundeshagen die Meßkunst aller forstlichen Kräfte und Erfolge sein soll, spricht immer nur von einer Arbeit, die Geld kostet; die wichtigste Arbeit, die das Licht leistet, wird von ihr nicht erwähnt, und doch ist es nicht gleichgültig, wie und was wir das Licht arbeiten lassen. — Wenn wir auch keine sichere Vorstellung haben, wie eigentlich die chemischen Vorgänge sich vollziehen, so haben wir doch ein Mittel, ungefähr die dabei in Tätigkeit tretenden Energiemengen

zu messen. Bei jeder chemischen Reaktion vollzieht sich eine Umwandlung von chemischer Energie in Wärmeenergie, oder umgekehrt, nach dem Gesetz der Erhaltung der Energie. Die Lichtenergie, die scheinbar im Pflanzenblatt verschwindet, bleibt in den aus ihr entstandenen Verbindungen als chemische Energie aufgespeichert, bis einmal sich die Reaktion in umgekehrtem Sinne, z. B. durch Verbrennung, vollzieht, dann geht die chemische Energie wieder in Wärme über. Diese frei werdende Wärme können wir messen und aus der so gefundenen Menge das mechanische Äquivalent der Wärme nach Meterkilogrammen oder Pferdekräften berechnen.

Bekanntlich hat man die Wärmemenge, die erforderlich ist, um ein Kilogramm Wasser um ein Grad (Celsius) zu erwärmen, als Wärmeeinheit gewählt und sie Kalorie genannt. Wieviel solcher Wärmeeinheiten in einer chemischen Verbindung enthalten sind, kann man entweder dadurch feststellen, daß man die Wärme durch Verbrennung freimacht und sie mittelst besonderer Apparate mißt, oder indem man sie aus den Konstitutionsformeln der betreffenden Verbindungen berechnet.

Die durch Verbrennung ermittelten Wärmeeinheiten betragen für ein Kilogramm (nach Lommel S. 171):

Für	Wasserstoff	= 34460	Kalorien
„	Kohlenstoff.	= 8080	„
„	Terpentinöl	= 10850	„
„	Wachs	= 10500	„
„	Tannenholz	= 4420	„

Das mechanische Äquivalent der Wärme findet man, wenn man diese Zahlen mit 427 multipliziert. Es würde also für Tannenholz betragen: $4420 \cdot 427 = 1887340$ Meterkilogramm oder, in Pferdekräften ausgedrückt: $1887340 : 75 =$ rund 25000 Pferdekräfte. Um also in einer Sekunde in einem Revier ein Kilogramm Tannenholz zu erzeugen, muß das Licht mit einer Kraft von 25000 Pferdestärken arbeiten. Um eine gleiche Menge Kork, den Hauptbestandteil der Borke, Wachs, Terpentinöl oder fettes Öl, das im Buchensamen enthalten ist, zu schaffen, ist mehr als der doppelte Energieaufwand erforderlich. Wenn wir demnach durch zu starke Durchforstungen unsere Waldbäume zur verfrühten Samenproduktion bringen oder sie durch unnötige Lichtungen zwingen, sich gegen die Licht-

und Wärmestrahlen der Sonne zu schützen, so treiben wir eine ungebührliche Kraftverschwendung, indem wir durch mehr als doppelten Energieverbrauch Stoffe produzieren, die für uns nur ausnahmsweise Wert haben. — In einem Revier von 2000 ha Größe wird man bei einem jährlichen Durchschnittszuwachs von 5 fm pro Hektar in der Vegetationszeit nach voller Blattentwicklung annehmen können, daß in jeder Sekunde bei Tage durchschnittlich ein Kilogramm Holzmasse produziert wird. Außer der hierzu erforderlichen Energie ist noch solche zur Entwicklung der Blätter nötig, sei es, daß sie sofort verwendet oder in Form von Reservestoffen aufgespeichert wird; denn die Assimilationsprodukte werden zum geringsten Teile zum Aufbau des Organismus verwendet, der größte Teil wird durch Atmung oder in verwandten Prozessen wieder zerstört, und die beim Abbau komplizierter Verbindungen frei werdende chemische Energie wird im Betriebe der Pflanzen ausgenutzt. Der berechnete Energieaufwand von 25000 Pferdekräften, die zur Erzeugung eines Kilogramms Tannenholzes notwendig sein sollten, wird demnach viel zu klein sein. — Man sieht, daß der Aufwand an menschlicher und tierischer Arbeit im Walde im Vergleich zu diesen Zahlen verschwindend klein ist.

26. Wir haben gesehen, daß nur langwellige Lichtstrahlen zur Photolyse verwendet werden. Diese Anpassung war zu einer Zeit, als die Erde noch große Eigenwärme hatte und nur die langwelligen Lichtstrahlen die Dampfhülle durchdringen konnten, notwendig. Aber sie ist auch jetzt noch sehr zweckmäßig. Nach Langleys Messungen (Liesegang, H. 2, S. 44) läßt auch jetzt noch die Erdatmosphäre vom Rot des Sonnenlichtes 70% durch, vom Ultraviolett dagegen nur 35%. Bei großer relativer Luftfeuchtigkeit, wie sie im Gebirge oft vorhanden ist, auch bei Nebel, werden die kurzwelligen Lichtstrahlen aber noch viel stärker absorbiert. Wenn letztere also, wie jetzt vielfach irrtümlich angenommen wird, die Kohlensäureassimilation bewirkten, so müßten sich Gebirgsgegenden und Seeküsten durch besonders niedrigen Massenzuwachs auszeichnen, was bekanntlich nicht zutrifft.

Es bleibt noch die Frage zu beantworten, welche Bedeutung die übrigen Lichtstrahlen, die nicht zur Assimilation verwendet werden, für das Pflanzenleben haben. Zunächst leuchtet ein, daß sie allgemein, da alle Lichtstrahlen auch Wärmestrahlen sind,

durch ihre erwärmende Wirkung den Pflanzen nützlich sein werden; daß ein Teil von ihnen aber auch unter Umständen die Pflanzen schädigen, ja selbst sie töten kann, hat Marshall Ward (1893) experimentell festgestellt (Liesegang, H. 2, S. 22). Er besäte Gelatineplatten mit Bakterien und projizierte auf diese Platten Spektra. Die roten und gelben Strahlen hatten keinen Einfluß; die tötende Wirkung begann erst im Blau und erreichte an der Grenze von Violett und Blau das Maximum. D'Arcy und Hardy (Liesegang ebenda) haben später untersucht, wie diese Wirkung zustande komme und experimentell festgestellt, daß sich bei Belichtung mit kurzwelligen Strahlen aus gewissen organischen Verbindungen Ozon und Wasserstoffsuperoxyd bilden, die bekanntlich bakterientötende Wirkungen haben. Wenn nun schon diese bakterienfeindliche Wirkung der kurzwelligen Strahlen bei so geringer Helligkeit eintritt, wie sie durch den schmalen Spalt des Spektrometers bedingt ist, um wieviel stärker muß sie sich bei ungeschwächtem Sonnenlichte bemerkbar machen.

Diese Eigenschaft des Lichtes ist für uns Forstleute von der allergrößten Bedeutung. Wir werden später noch erfahren, daß der Abbau der Pflanzenreste im Walde und die Bindung des Luftstickstoffes durch bestimmte Bakterienarten erfolgt. Beide kann man durch zu viel Licht töten; die Humus- und die Stickstofffrage sind also ausgesprochene Lichtfragen.

27. Wir verlassen vorläufig die niederen Pflanzen, deren Bedeutung wir noch später ausführlich behandeln wollen, und wenden uns zunächst wieder den höheren zu.

Daß zu viel Licht schadet, ist bereits früher schon erwähnt worden. Bei Überschreitung des für die einzelnen Pflanzen bestehenden Lichtmaximums werden diese zunächst im Wachstum gehindert, bei zu großer Steigerung sogar getötet. Die Lage dieses Maximums ist spezifisch verschieden, und auch nicht alle Organe derselben Pflanze sind gleichempfindlich. So werden Chlorophyllkörner vielfach schneller getötet als das übrige Protoplasma.

Es ist allgemein bekannt, daß Pflanzen, z. B. Kartoffeln, die in schwachem Lichte des Kellers austreiben, ungewöhnlich lange Triebe bilden, während sie im vollen Licht nur einen kurzen Sproß bilden. Diese Überverlängerung der Triebe, die meist mit Krümmungen verbunden ist, nennt man Etiolement.

Gewöhnlich wird zwar unter Etiolement ein Bleichwerden der Blätter durch Dunkelheit verstanden, diese Farbenveränderung ist aber kein eigentliches Etiolement; denn die grünen Pflanzen etiolieren auch bei Licht, in dem volle Kohlensäureassimilation stattfindet; ebenso etiolieren viele Pilze, die gar keine Kohlensäure assimilieren. Das Etiolement ist also auf den Reiz, den der Mangel an kurzwelligen Strahlen auf die Pflanzen ausübt, zurückzuführen; letztere wirken wachstumshemmend.

Den Forstleuten sind diese Folgen des Dunkelheitsreizes wohlbekannt, wenn sich vielleicht auch viele von ihnen über die Ursachen nicht recht klar sind. Wir wissen, daß einzeln stehende Bäume nie so hoch werden wie die im Schlusse des Bestandes stehenden, trotzdem ihnen die besser ausgebildete Krone eigentlich mehr Baustoffe liefern müßte. Die Bedeutung des Etiolements wird in der Forstwissenschaft noch viel zu wenig gewürdigt. — Erst kürzlich wurde in einer wissenschaftlichen Abhandlung die Behauptung aufgestellt, es sei eine „physiologische" Eigentümlichkeit der Nadelhölzer, daß die Schlußstellung ihr Höhenwachstum weniger beeinflußt. In freier Stellung, die eine kräftigere Kronentwicklung zur Folge hat, werde das Höhenwachstum eher gewinnen. — Gerade das Umgekehrte ist der Fall; denn nicht nur auf die Ausbildung der Triebe hat das Licht Einfluß, auch die Größe der Blätter und Nadeln ist von ihm abhängig. Mit zunehmender Lichtintensität wächst die Größe der Blätter nur bis zu einem gewissen Maximum, um bei weiterer Steigerung wieder abzunehmen.

Worin die wachstumshemmende Wirkung der brechbareren Strahlen beruht, ist noch nicht festgestellt. Man könnte ja mit D'Arcy und Hardy (S. 67 d. W.) an eine Bildung von Wasserstoffsuperoxyd denken. Es ist bekannt, daß in den Laubblättern Stoffe vorhanden sind, die die Fähigkeit haben, Körper mit großen Molekülen, wie Zellulose, Stärke u. a. m., unter Wassereinfügung in solche mit kleineren Molekülen, wie Zucker, Maltose usw., zu spalten. Diese Stoffe, die zu einer solchen „hydrolytischen" Spaltung befähigt sind, nennt man Enzyme (Fermente). Diese Enzyme haben eine katalytische Wirkung auf Wasserstoffsuperoxyd, d. h. sie beschleunigen seinen Zerfall in H_2 und O_2, ohne im Endprodukt zu erscheinen. Festgestellt ist ferner, daß die katalytische Wirkung der Diastase, des Enzyms, das in den Laubblättern meistens enthalten ist, durch das Licht gehemmt wird.

Es wäre deshalb sehr wohl denkbar, daß bei schwachem Lichte das sich bildende Wasserstoffsuperoxyd H_2O_2 durch die Diastase zersetzt würde, wobei vielleicht O_2 durch seine oxydierende Wirkung auf das Eisensalz und H_2 durch seine reduzierende auf die Kohlensäure von weiterem Vorteil sein könnte, während bei stärkerer Belichtung eine Katalyse durch Diastase oder andere Enzyme nicht eintritt. — Ich sage ausdrücklich: „es wäre denkbar", und bezeichne damit vorstehende Ausführungen als Hypothese, also als etwas noch nicht Bewiesenes.

28. Wir wenden uns jetzt den formgebenden oder formativen Eigenschaften des Lichtes zu. Wir haben gesehen, daß das Licht die Größenverhältnisse der Pflanzen beeinflußt; daß aber bestimmte Lichtstrahlen auch formative Eigenschaften haben müssen, läßt sich schon daraus schließen, daß in den verschiedenen Entwicklungsperioden der Erde auch verschiedene Pflanzenformen entstanden sind.

Die formlosesten Gebilde, die Algen und Tange, entstanden zu einer Zeit, als noch fast vollständige Dunkelheit geherrscht haben muß, wie sie ja auch jetzt noch in größeren Meerestiefen bei sehr schwachem Lichte gedeihen. Wir finden ihre Überreste in den ältesten Sedimentärschichten.

Dann folgen die Farne, Schachtelhalme der Bärlappgewächse im Silur, Devon und Perm.

Im Trias und Jura finden wir die Gymnospermen und erst in der Kreide, dem Tertiär, Diluvium und Alluvium bis zur Jetztzeit die Angiospermen.

Wie die Lichtverhältnisse zu den verschiedenen Bildungszeiten gewesen sein mögen, können wir aus der Bildung der Augen der Tiere schließen, deren Überreste uns erhalten sind. Wenn also die Angiospermen, die zum großen Teil auf die Befruchtung durch Insekten angewiesen sind, erst mit der Kreidezeit auf der Erde erscheinen, wird man vermuten können, daß es erst dann für die Insekten, die ja, soweit sie an der Befruchtung der Blütenpflanzen beteiligt sind, zumeist ausgesprochene Augentiere sind, genügend hell war, um sicher die Luft durchfliegen zu können. Mit und durch die Angiospermen ist aber erst die Mannigfaltigkeit der Formen in der Pflanzenwelt erschienen, die wir heute noch in ihr finden, und die nicht allein den langen Entwicklungszeiträumen zuzuschreiben ist; denn die Darwinschen Ansichten über Artenbildungen sind ja nicht mehr haltbar, seitdem

erwiesen ist, daß durch Selektion und Anpassung nur Rassen entstehen, die nicht konstant sind. Konstante Arten entstehen plötzlich, durch sprungweise auftretende Veränderungen, die einen oder mehrere Charaktere einer Art mit einem Schlage abändern oder neu bilden, die man Mutationen nennt. —

Wenn also die zunehmende Helligkeit auf der Erde die Vorbedingung für einen größeren Formenreichtum unter den Pflanzen war, dann können es nur die kurzwelligeren Strahlen sein, deren Zunahme diese Erscheinung zugeschrieben werden kann. Dies trifft auch, wie experimentell bewiesen werden kann, zu. Bei allen Gestaltungsprozessen sind die stärker brechbaren Strahlen die wirksamen; das ultraviolette Licht hat aber keinen besonderen Einfluß auf die Ausgestaltung der Pflanzen (Jost S. 378).

29. Wenn wir uns nun eine Vorstellung bilden wollen, in welcher Weise der formative Reiz der Lichtstrahlen sich äußert, so müssen wir außer der Qualität des Lichtes noch zweierlei berücksichtigen, nämlich dessen Richtung und Intensität.

Es ist früher schon auf den Unterschied zwischen direktem Sonnenlicht und zwischen zerstreutem hingewiesen worden. Es ist S. 16 bis 19 ausgeführt worden, daß die meisten Forstleute die größere oder geringere Helligkeit des zerstreuten Lichtes im Walde fälschlich Halbschatten und Schatten nennen, und es wurde die Tatsache, daß wir noch so wenig über das Licht im Walde wissen, dem Umstande zugeschrieben, daß wir bisher mit falschen Begriffen gearbeitet haben.

Der wesentlichste Unterschied zwischen direktem und zerstreutem Sonnenlichte besteht darin, daß das direkte in parallelen Strahlen einseitig die beleuchteten Körper trifft, etwa so, wie der Regen einseitig auf die Gegenstände fällt, die sich ihm entgegenstellen, während das zerstreute Licht sie allseitig umfließt, ähnlich wie der Nebel die Körper fast von allen Seiten benetzt.

Ein weiterer Unterschied liegt darin, daß die ursprünglich parallelen Lichtstrahlen durch die Zerstreuung an undurchsichtigen oder durchscheinenden Gegenständen einen Teil ihrer Intensität verloren haben; sie wirken also physiologisch milder, weil die Lichtenergie nicht so stark und nicht einseitig fließt. Gegen den starken und einseitigen Lichtreiz, den die Pflanzen als wohltuend und vorteilhaft nicht empfinden, suchen sie sich auf verschiedene Art zu schützen.

30. Pflanzen, die wir im Zimmer halten, wachsen einseitig dem Lichte zu. Fände in der Natur keine ausreichende Lichtzerstreuung statt, so würden unsere Waldbäume ganz sonderbare Formen haben. Die Pflanze führt, um ihre Organe in die für sie vorteilhafteste Lichtlage zu bringen, Orientierungsbewegungen aus, die wir Heliotropismen oder besser Phototropismen nennen. Je nachdem sie sich dem Lichte zu- oder abwendet, spricht man von positivem und negativem Heliotropismus. Einzelne Organe, wie die Wurzeln, sind ausgesprochen negativ heliotropisch, was besonders an steilen Hängen von Vorteil ist, da die Wurzeln sonst ins Freie wachsen würden; bei anderen ist die Intensität des Lichtes darüber entscheidend, ob sie positiv, negativ oder indifferent sind. Im übrigen ist der Heliotropismus nicht an Chlorophyll führende Pflanzenteile gebunden, er kommt auch bei Pilzen vor; wir haben es, und das ist wesentlich, bei ihm mit einer einheitlichen Reaktion der ganzen Pflanze auf einen äußeren Reiz, den Lichtreiz, zu tun.

Dieser Reiz muß, wie alle Reize, stark genug sein, um von der Pflanze perzipiert zu werden; die „Reizschwelle" muß überschritten werden. Es wird dann, wahrscheinlich durch das Protoplasma, das in der ganzen Pflanze, also auch im größten Baume eine einheitliche Masse darstellt, weil alle Protoplasmakörper der einzelnen Zellen durch Protoplasmabänder miteinander verbunden sind, weitergeleitet, und die Reaktion auf den Reiz erfolgt dann oft an einer Stelle, die von dem Perzeptionsorgan weit entfernt ist.

Es möge sich beispielsweise ein Zweig eines Baumes in einer ungünstigen Lichtlage befinden. Der Reiz wird durch die Blätter perzipiert, durch das Protoplasma dieser und des ganzen Astes weitergeleitet, und die Krümmung als Reaktion erfolgt dann an einer Stelle, die von der Reizaufnahme mehrere Meter entfernt ist.

Wir müssen uns deshalb darüber klar werden, daß wir durch wirtschaftliche Maßnahmen, wie Durchforstungen, Lichtungen usw., einem Baume nie einseitig helfen können, sondern daß immer der ganze Baum auf den Lichtreiz reagieren muß. Deshalb sehen auch viele Durchforstungen einige Jahre nach ihrer Ausführung ganz anders aus, als man sich beim Auszeichnen vorgestellt und beabsichtigt hatte.

Wir bemerkten vorhin, daß verschiedene Organe verschieden heliotropistisch sind, daß aber auch dasselbe Organ, wie Oltmanns (1897 n. Jost S. 570) experimentell nachgewiesen hat,

nach Umständen positiv, indifferent oder negativ heliotropistisch sein kann. Das Ergebnis der Oltmannschen Untersuchungen läßt sich dahin zusammenfassen, daß wir sagen: „es existiert eine gewisse niedrigste Lichtintensität, bei der die heliotropistische Krümmung beginnt; diese Reizschwelle ist aber bei verschiedenen Pflanzen verschieden". Es gibt dann zweitens eine Lichtintensität, bei der die Krümmung im größten Winkel erfolgt, und drittens eine, bei der gar kein Heliotropismus existiert, und diese Lichtintensität entspricht nach Oltmanns dem Lichtbedürfnis des entsprechenden Organismus oder Organs am besten; sie ist die optimale Helligkeit für sein Gedeihen, während die zweitgenannte das Optimum für die positiv heliotropistische Krümmung ist. Endlich erreicht mit noch weiterem Steigen die Lichtintensität einen neuen Schwellenwert, nämlich den für die negative Krümmung. Negative wie positive Krümmungen haben den Sinn, die Pflanze ins Lichtoptimum zu bringen (Jost S. 571).

Ein recht anschauliches Beispiel für das eben Gesagte geben uns die Nadeln von Fichten und Tannen, die im direkten Sonnenlichte wachsen. Sie sind nämlich säbelförmig gekrümmt, und wir können, bei einzelnen wenigstens, alle drei verschiedenen Lichtlagen beobachten.

In der Natur kommen sonst heliotropistische Bewegungen nur unter dem Einfluß des zerstreuten Lichtes, nicht des direkten Sonnenlichtes, vor, worauf Wiesener wiederholt hingewiesen hat, und zwar wird die fixe Lichtlage der Blätter durch das stärkste diffuse Licht bestimmt, zu dem sie sich senkrecht stellen (n. Jost S. 573 und 574). Wäre aber Wieseners Ansicht, daß das stärkste diffuse Licht im Walde in der Regel senkrecht von oben herkommt, richtig, dann müßten fast alle Blätter der Waldbäume eine horizontale Lage haben. Dies ist aber, wie man leicht beobachten kann, nicht der Fall; die zerstreute Zurückwerfung, die Wiesener vollständig unberücksichtigt gelassen hat, sorgt schon dafür, daß die Pflanzen nicht nur von oben, sondern auch von den Seiten, oft sogar auch von unten reichlich Licht erhalten.

Den Pflanzen ist also durch den Heliotropismus die Gelegenheit gegeben, sich im Raume zu orientieren und die für sie günstigen Lichtverhältnisse aufzusuchen. Die zu diesem Zwecke erforderlichen Bewegungen werden durch einseitiges Wachstum und verschieden starke Gewebespannungen (Turgordruck) aus-

geführt. Auf diese Weise erhält die Pflanze die ihr eigentümliche Wuchsform.

31. Eine weiter formative Eigenschaft der kurzwelligen Strahlen, die uns Forstleuten oft recht unbequem wird, ist die, daß sie Knospen, die bei schwacher Beleuchtung nicht austreiben, zum Austreiben bringen. Auf diese Weise entstehen die uns höchst unerwünschten Wasserreiser.

Es ist klar, daß die einzelnen Organe der Pflanze, die durch Protoplasmafäden zu einem Ganzen vereinigt sind, einander ganz außerordentlich stark beeinflussen müssen. Diese Beziehungen pflanzlicher Organe zueinander nennt man Korrelationen des Wachstums. Wenn nun verschiedene Organe eines Pflanzenkörpers verschiedenen Bau und verschiedene Funktionen haben, dann beeinflussen sie sich notwendig in dem Sinne, daß das Auftreten einer bestimmten Funktion bei einzelnen Organen andere zur Ausübung anderer Funktionen nötigt, obwohl diese im Prinzip sehr wohl befähigt wären, eine gleiche Funktion auszuüben. Aus jedem Organe, das an einem Vegetationspunkt entsteht, kann noch sehr viel werden; daß es in die ganz bestimmte Bahn hineingedrängt wird, liegt nur in seinem Zusammenhange mit anderen Teilen. Bestände diese Regulierung der Entwicklung der Teile nicht, so wäre die Pflanze kein Organismus, sondern eine wilde Masse belebter Substanz (Jost S. 398). So bestehen z. B. Korrelationen zwischen der Entfaltung von Laubblättern und dem sekundären Dickenwachstum des Stammes, der Bildung des Hauptsprosses und der Seitentriebe, wie überhaupt die ganze Ausbildung der Gestalt einer Pflanze durch Korrelationen bedingt wird. Dem Vorhandensein dieser Korrelationen ist es also zuzuschreiben, daß in der Regel nur ein Teil der vorhandenen Knospen austreiben und sich zu Zweigen entwickeln darf. Trifft aber diese Knospen ein starker Reiz, wie z. B. der Lichtreiz, so werden sie zum Austreiben veranlaßt. Selbstverständlich greifen derartige Reize störend in die Organisation der Pflanze ein, und es ist ja hinlänglich bekannt, daß starke Wasserreiserbildung häufig Zopftrocknis zur Folge hat.

32. Es wurde schon früher erwähnt, daß die den Pflanzen zufließende Lichtintensität von wesentlichem Einflusse auf deren Größenverhältnisse ist. Es ist dies etwas, was man leicht mit bloßem Auge feststellen kann. Der Einfluß des Lichtes reicht

aber noch weiter: er zwingt die Pflanzen oft zu tiefgehenden anatomischen Änderungen im Bau ihrer Blätter, um diese den herrschenden Lichtverhältnissen anzupassen.

Nadelhölzer, wie Fichten und Tannen, schützen sich gegen zu viel Licht, wie wir gesehen haben, durch Krümmungen ihrer Nadeln; die Nadeln der Kiefern sind ziemlich rund und außerdem noch gedreht; bei den Blättern der Laubhölzer dagegen reichen solche heliotropistische Krümmungen nicht aus, um einen genügenden Schutz gegen zu starke Lichtwirkung herbeizuführen.

Machen wir durch ein Blatt irgendeines Laubholzes, z. B. einer Stieleiche, das im direkten Sonnenlichte gewachsen ist, einen senkrechten Schnitt und betrachten diesen unter dem Mikroskop, so sehen wir (Tafel IV, Fig. 1 a und b), daß das Blatt fast durchweg aus langgestreckten Zellen besteht, die man ihrer Form wegen Pallisadenzellen nennt. Das aus ihnen zusammengesetzte Gewebe heißt Pallisadenparenchym. Fertigt man ein gleiches Präparat von einem Blatte, das in hellem, zerstreutem Lichte gewachsen ist, so fällt es auf, daß das Blatt zunächst viel dünner ist. Wir finden ferner nur eine Pallisadenreihe und unter dieser eine starke Schicht eines lockeren Gewebes, das Schwammparenchym heißt, mit weiten Interzellularräumen, die dem ersten fast ganz fehlten. (Taf. V, Fig. 2.)

Gehen wir in unseren Untersuchungen noch weiter und nehmen ein Blatt aus stärkerem Druck, so sehen wir die Pallisadenreihe immer kürzer und das Schwammparenchym im Verhältnis zu dieser stärker werden. (Taf. V, Fig. 3.)

Das Blatt eines Wasserreises zeigt endlich gar keine Pallisaden mehr, sondern an ihrer Stelle stumpfe, kegelförmige Zellen mit breiter Basis und auch nur unvollkommen ausgebildetes Schwammgewebe. (Taf. VI, Fig. 4.)

Wir müssen uns fragen, welchen Zweck diese Unterschiede, die offenbar Anpassungsformen sind, haben und nehmen deshalb ein Sonnenblatt, das längere Zeit der Prallsonne ausgesetzt war, machen rasch einen dünnen, senkrechten Schnitt und bringen das Präparat unter das Mikroskop. Wir sehen nun, daß sich alle Blattgrünkörner ganz eigentümlich in den Zellen angeordnet haben; sie stehen nämlich an den Pallisadenwänden eines unter dem anderen. Man nennt diese Stellung Profilstellung, und sie hat offenbar den Zweck, den gegen starkes Licht sehr empfindlichen Chlorophyllkörnern die Möglichkeit zu geben, dem Lichte

eine möglichst kleine Fläche zu bieten. Blätter, in denen sich die Blattgrünkörner in Profilstellung befinden, sehen auffallend hell aus.

Im zerstreuten Lichte ordnen sich die Chlorophyllkörner so an, daß sie diesem eine möglichst große Fläche bieten, also an den horizontalen, den Blattspreiten parallelen Flächen in sog. „Flächenstellung". Solche Blätter sehen viel dunkler aus.

Man hat diesen Farbenwechsel vielfach zu Spielereien benutzt, indem man auf besonnte Blätter aus Papier geschnittene Figuren befestigte, die sich dann nach Wegnahme des Papieres dunkelgrün vom hellgrünen Grunde abhoben, und solche Bilder „lebende Photographien" genannt.

Es leuchtet ohne weiteres ein, daß der Schutz der Chlorophyllkörner um so größer sein muß, je mehr Körner sich hintereinander in Profilstellung gruppieren können, je dicker also die Pallisadenschicht ist. —

Beim Vergleich der Figuren 1 mit den folgenden fällt das fast vollständige Fehlen der Interzellularräume im Sonnenblatt auf. Wenn diese Interzellularen der Transpiration und Atmung dienen, so müssen diese bei den Sonnenblättern sehr zurücktreten.

Aus diesen Umständen und auf Grund spektrophotometrischer Messungen (S. 57) glaube ich schließen zu können, daß eine der wesentlichsten Aufgaben der Sonnenblätter ist, das Licht abzuschwächen und zu zerstreuen, damit die unter ihnen befindlichen durch sie, wie durch einen Schleier geschützt, ihre Aufgabe, die Kohlensäureassimilation, um so besser erfüllen können.

33. Daß die Anpassungsform der mehrfachen Pallisadenbildung von wesentlicher Bedeutung ist, dürfen wir schon daraus schließen, daß ein lange dauernder Lichtreiz notwendig ist, ehe die Anfänge einer zweiten Pallisade gebildet werden.

Nordhausen (1903 n. Jost S. 479-80) hatte festgestellt, daß die eben beschriebenen Unterschiede im anatomischen Bau der Sonnen- und gewöhnlichen Lichtblätter bei Buche bestehen und tatsächlich schon in der Knospe festgelegt sind, und daß ferner die bei ihrer Entfaltung herrschenden Lichtverhältnisse nur eine geringe Rolle spielen. — Ich habe diese Untersuchungen auf die meisten unserer Laubhölzer ausgedehnt und bei diesen ähnliche Verhältnisse gefunden. Bei Eiche und Buche habe ich

festgestellt, daß ein Zweig, der im schwächeren zerstreuten Licht entstanden ist, erst drei Jahre nach seiner vollen Freistellung die ersten Anfänge zur Bildung einer zweiten Pallisadenreihe in seinen Blättern zeigt. — In Fig. 5 (Taf. VI) ist dies deutlich zu sehen. Der Schnitt stammt von einer Stieleiche, die durch Abtrieb eines 14 m breiten Streifens vollständig freigestellt worden war. Das Blatt hatte die reichliche Dicke eines Sonnenblattes, eine Pallisadenreihe ist sehr gut ausgebildet, die zweite aber erst in der Entwicklung begriffen, das Schwammparenchym noch sehr locker und von großen Interzellularen durchsetzt. — Es ist klar, daß sich ein solches Blatt gegen starke Lichtstrahlung und Wasserverluste durch Transpiration nur ungenügend schützen kann.

34. Welches sind nun die Nutzanwendungen, die wir aus diesem Verhalten der Pflanzen dem Lichte gegenüber ziehen können? Sie ergeben sich eigentlich ganz von selbst und bestätigen nur das, was die Erfahrung längst festgestellt hat.

Wenn ein Baum so lange Jahre braucht, um die eine Lichtform des Blattes in die andere umzubilden, d. h. sich dem direkten Sonnenlichte anzupassen, dann wird er von nebenstehenden Stämmen natürlich leicht überwachsen werden, wenn diese ihm durch Schutzmittel gegen zu starke Bestrahlung überlegen sind. Deshalb ist es auch so schwer, ja oft direkt unmöglich, Eichen, deren Kronen bereits eingeklemmt sind, durch Freihiebe zu retten, besonders in der Mischung mit Fichte, die zum Schutz gegen die Sonne nichts weiter zu tun braucht, als ihre Nadeln zu krümmen. — (Sehr stark unterdrückte Fichtennadeln passen sich übrigens dem direkten Sonnenlichte auch schlecht an, und es ist dies einer der Gründe, weshalb die Durchforstungen so wenig nützen, wenn ein Fichtenbestand in zu engem Stande erwachsen ist.)

Ferner leuchtet ein, daß bei einem beispielsweise zehnjährigen Durchforstungsturnus im Laubholze ein großer Teil der Zweige fortwährend seine Blätter umbauen muß, und zwar zunächst in die Sonnenform mit zwei Pallisadenreihen, und dann je nach Eintritt des Schlusses wieder rückwärts.

Vom pflanzenphysiologischen Standpunkte aus ist also wahrscheinlich ein zehnjähriger Durchforstungsturnus — für Eiche und Buche wenigstens — zu lang, und die nächste Durchforstung müßte ausgeführt werden, sobald der Abbau der zweiten Pallisaden-

reihe beginnt. Wie lang dieser Zeitraum ist, muß noch festgestellt werden. Da man aber aus vielen anderen Gründen an einem zehnjährigen Turnus wird festhalten müssen, so wird man sich, wie dies ja auch schon geschieht, dadurch zu helfen suchen, daß man erst nach Beendigung des Haupthöhenwuchses stärkere Durchforstungen vornimmt und bei diesen die Kronen besserer Stämme so weit isoliert, daß sie sich nicht zu schnell wieder drängen können. Um aber nicht zu viel Licht auf den Boden zu lassen, läßt man von den unterdrückten Stämmen so viele stehen, als nötig ist.

Auf den Wert dieser zweiten Etage, die sich doch immer wieder bilden würde, weil sie eben eine Naturnotwendigkeit ist, wird später noch zurückgekommen werden; auf ihre Bedeutung als Reflektor des diffusen Lichtes ist schon hingewiesen worden.

Ich habe Blätter der verschiedenen Lichtformen von unseren Hauptholzarten untersucht und auch die Abmessungen der einzelnen Gewebeelemente mikrometrisch bestimmt; die gefundenen Zahlen anzugeben unterlasse ich aber absichtlich, weil diese Untersuchungen noch nicht abgeschlossen sind und die Zahlen leicht zu falschen Schlüssen führen könnten, wenn sie verallgemeinert würden.

Drei deutlich ausgebildete Pallisadenreihen sind bei Eiche und Schwarzerle nicht selten zu finden; bei letzterer fand ich auch bei Blättern, die im schwächeren zerstreuten Lichte gewachsen waren, öfter zwei Pallisadenreihen, was darauf hinweisen würde, daß die Erle plötzliche Freistellungen gut verträgt, was ja bekanntlich auch zutrifft.

Bei Esche tritt schon bei mäßigem Druck die Pallisadenbildung sehr zurück und hört bei noch relativ hoher indizierter Helligkeit ganz auf. — Ganz abweichend scheinen sich die Ahorne zu verhalten, bei deren Sonnenblättern ich immer nur eine Pallisadenreihe gefunden habe.

Wie schon erwähnt, beruhen diese Beobachtungen nur auf wenigen Einzelmessungen. Sollten derartige Arbeiten, die geeignet zu sein scheinen, uns wichtige Aufschlüsse zu geben, eine sichere Grundlage erhalten, dann müßten sie in großer Zahl ausgeführt werden, sich auf alle Holzarten und Standorte erstrecken, und es müßte jedesmal die Helligkeit gemessen und angegeben werden, unter der das untersuchte Blatt gewachsen ist. Zweckmäßig wird es sein, Blätter derselben Zweige längere Zeit hin-

durch jährlich zu untersuchen, und um Vergleichsmaterial zu haben, die Schnitte zu photographieren. Die Mikrophotographie ist ja schon deshalb eines der wertvollsten Forschungsmittel, weil sie durch die unserem Auge unsichtbaren ultravioletten Strahlen vieles auf die Platte bringt, was wir beim gewöhnlichen Gebrauch des Mikroskopes gar nicht sehen können.

(Anmerkung. Sehr zu empfehlen ist hierbei der Gebrauch von Objektiven mit hoher numerischer Apertur in Verbindung mit der C. Leißschen einfachen mikrophotographischen Camera. Die gebräuchlichen mikroskopischen Objektive von schwacher Vergrößerung — und nur die ist für diese Zwecke anwendbar, um möglichst viel auf die Platte zu bekommen und durch stärkere Okulare das Gesichtsfeld erweitern zu können — haben nur kleine numerische Aperturen, z. B. das Objektiv von C. Zeiß in Jena mit 7 mm äquivalenter Brennweite nur 0,4 — für 4,2 mm nur 0,65. — Bei E. Leitz in Wetzlar beträgt die numerische Apertur für eine Brennweite von 5,8 mm auch nur 0,77.

R. Fueß in Steglitz liefert aber unter Nr. 7 ein Objektiv, das bei einer äquivalenten Brennweite von 5 mm eine numerische Apertur von 0,9 hat. Nun entsteht aber das Bild im Mikroskop, im Gegensatz zu den Bildern der Gegenstände, die wir direkt sehen, zum größten Teile durch Interferenz (Auslöschung) der gebeugten Lichtstrahlen, und die Ähnlichkeit der mikroskopischen Bilder ist um so größer, je mehr Lichtstrahlen in das Objektiv hineinkommen und ausgelöscht werden, je größer also die numerische Apertur ist. Die Auflösungs- und Definitionskraft der verschiedenen Objektive untereinander verhält sich direkt wie deren numerische Aperturen. — Einen weiteren Vorteil gewähren uns hohe numerische Aperturen, weil die Helligkeit der mikroskopischen Bilder bei einer und derselben Vergrößerung proportional dem Quadrate der numerischen Aperturen ist. Bei den an sich schon sehr langen Belichtungszeiten, mit denen man bei künstlichem Lichte arbeiten muß, ist eine große Helligkeit des Bildes aber von erheblichem Vorteil.

Die kleine mikrophotographische Camera gestattet, da sie bedeutend kürzer ist als die normale Sehweite, die Anwendung einer hohen Okularvergrößerung. Nähere Angaben über sie findet man bei C. Leiß: Die optischen Instrumente, S. 249 u. 206.

35. Eine weitere Wirkung des Reizes der kurzwelligen Strahlen ist die gesteigerte Bildung von Fortpflanzungsorganen, also von Blüten und Samen. Es ist ja bekannt, daß man in einem geschlossenen Bestande, den man natürlich verjüngen will, erst einen Vorbereitungsschlag einlegt, um die Blütenbildung zu befördern. Man geht dabei von der Voraussetzung aus, daß durch die Zersetzung des Humus den Samenbäumen mehr Nährstoffe zugeführt werden, und daß diese dadurch zum Samentragen

angeregt werden. — Diese Annahme ist aber nur zum Teil richtig.

Die allgemeinste Bedingung des Auftretens von Fortpflanzungsorganen ist eine Änderung in der Ernährung, vor allen Dingen eine Herabsetzung der Nahrungsaufnahme von außenher. — Die Abnahme der Nährstoffe wirkt als Reiz, der zur Bildung von Fortpflanzungsorganen führt und gleichzeitig das vegetative Wachstum hemmt. Es besteht demnach in dieser Beziehung ein Gegensatz zwischen einfachem Wachstum und Fortpflanzung, aber nicht derart, daß letztere sich bei schlechter, Wachstum bei guter Ernährung einstellte; im Gegenteil tritt die Fortpflanzung mit um so größerer Intensität ein, je besser die Ernährung der vegetativen Teile **vorher** war. Das Wachstum scheint also eine Vorbedingung der Fortpflanzung zu sein, und die Menge der angesammelten Nährstoffe muß um so größer sein, je komplizierter gestaltet die Fortpflanzungsorgane sind.

Wir verdanken Klebs (1900 n. Jost S. 436) diese Feststellungen und müssen aus ihnen den Schluß ziehen, daß ein Vorbereitungsschlag dann immer ein kräftiges Reizmittel sein wird, um unsere Bestände zum Samentragen anzuregen, wenn in diesen noch genügend zersetzbarer Humus vorhanden ist; wir werden aber aus den Klebsschen Forschungsergebnissen auch den Schluß ziehen müssen, daß ein Vorbereitungsschlag nur dann wirksam sein wird, wenn auf die Periode gesteigerter Ernährung eine solche der Nährstoffabnahme folgt, und um dies zu erreichen, wird man den Vorbereitungsschlag nicht zu dunkel halten dürfen. Dies würde schon aus dem Grunde falsch sein, weil eine gewisse Lichtintensität eine Bedingung, wenn auch nicht der auslösende Reiz für die Blütenbildung ist. —

Über die Ursachen der Blütenbildung sind wir noch sehr unvollkommen unterrichtet; so viel wissen wir aber, daß alle Faktoren, die auf eine üppige Laubblattbildung hinzielen, für die Blütenbildung ungünstig sind, und überall wo Blütenbildung auftritt, sehen wir die Laubblätterbildung geschwächt oder aufgehoben. Uns Forstleuten kommt es, abgesehen von den Ausnahmefällen der natürlichen Verjüngung, doch wesentlich darauf an, durch möglichst gesteigerte Laubblätterbildung Holz zu produzieren. Wenn jemand also eine Durchforstung derartig ausführt, daß die so behandelten Bestände reichlich Samen tragen.

dann sollte er sich auch darüber klar werden, daß er durch dies Verfahren nicht nur wertlose Stoffe produziert, zu deren Erzeugung vielleicht der doppelte Energieaufwand erforderlich war wie zur Herstellung einer gleichen Menge Holz, sondern daß er eine Abnahme der Nährstoffe in den betreffenden Beständen herbeigeführt hat, die längere Zeit ungünstig nachwirken muß.

36. Es ist bereits mehrfach erwähnt worden, daß man sich zum Messen des Lichtes im Walde photographischer Papiere bediente. Wenn es sich nur darum handelt, die kurzwelligen Strahlen, die fast allein auf Silbersalze wirksam sind, quantitativ zu bestimmen, dann mag dies Verfahren vielleicht brauchbar sein: zu bedenken bleibt aber immer, daß es gerade die ultravioletten Strahlen sind, denen eine besondere physiologische Bedeutung nicht zugeschrieben werden kann, die das Chlorsilberpapier stark schwächen. Wiesener hat, wie auf S. 21 bereits erwähnt wurde, mit Silberpapieren Lichtmessungen ausgeführt. (Nähere Angaben bei Jost S. 374.) Interessant ist es, daß er auf Grund seiner Messungen zu dem Ergebnisse kommt, daß ein und dieselbe Pflanze, je weiter sie nach Norden rückt und je höher sie über den Meeresspiegel steigt, um so mehr Licht braucht. Er kommt schließlich zu dem Schlusse, daß das Lichtbedürfnis mit der Abnahme der Temperatur steige. Wiesener hat, wie es scheint, seine Messungen, die ihn zu diesen Schlüssen führten, im Gebiete hoher relativer Luftfeuchtigkeit gemacht, durch die ein erheblicher Teil der kurzwelligen und besonders der ultravioletten Strahlen absorbiert worden ist. Seine Ergebnisse sind jedenfalls sehr anfechtbar; denn im Gebirge, das bekanntlich bis zu bestimmten Höhen das Gebiet der größten relativen Luftfeuchtigkeit ist, finden viele Holzarten ihre günstigsten Zuwachsverhältnisse. Es ist auch nicht nachgewiesen, daß die Pflanze eine bestimmte Wärmemenge nötig hat; wir wissen nur, daß sie eine bestimmte Temperatur verlangt, ohne die ein Wachstum überhaupt unmöglich ist.

Über quantitative Photometrie im Walde ist bereits früher (S. 22 ff.) ausführlich gesprochen worden: qualitative Lichtmessungen in Beständen sind wohl nocht nicht ausgeführt worden, wären aber sehr erwünscht, weil sie uns näheren Aufschluß darüber geben könnten, wie wir durch die verschiedenen Durchforstungsarten das Verhältnis der Lichtstrahlen zueinander be-

einflussen. Derartige Messungen sind mit dem (auf S. 55) bereits beschriebenen Handspektrophotometer ziemlich leicht auszuführen. Des Purkinjeschen Phänomens wegen (S. 43) muß man aber immer mit gleicher Spaltbreite untersuchen.

Nachdem man durch wiederholtes Vor- und Rückwärtsdrehen des Polarisators festgestellt hat, bei welcher Stellung eben noch am roten oder blauen Ende Farbengleichheit besteht, liest man die Grade an der Teilung ab und berechnet, wie angegeben, die Helligkeiten nach den Kosinusquadraten. Daß die so ermittelten Werte auf die Helligkeiten im Freien bezogen werden müssen, ist selbstverständlich.

Besonderer Wert ist auf die Ermittlung der Stärke des kurzwelligen Lichtes deshalb zu legen, weil dieses, wie schon (S. 67) erwähnt, die Salpeterbakterien und die Gärungspilze des Humus zu töten vermag. — Zahlen, die uns angeben, wieviel Licht eine Pflanze zur Assimilation überhaupt brauchen kann, fehlen uns bis jetzt. Eine einzige Angabe habe ich bei Liesegang (Heft 2, S. 44) gefunden. Nach Timiriazeff soll, wie dort ausgeführt wird, von ausgewachsenen Pflanzen höchstens ein Viertel des Lichtes für die Photolyse verwendet werden. Ich habe aber guten Grund, die Richtigkeit dieser Angabe zu bezweifeln.

37. Zum Schluß dieses Kapitels wollen wir uns noch kurz mit einem Gegenstande beschäftigen, der scheinbar mit dem Lichte nichts zu tun hat. In Buchennaturverjüngungen beobachtet man ziemlich regelmäßig, daß der Aufschlag unter den einzeln stehenden Bäumen kümmert, besonders wenn sie ziemlich weit herab beastet sind. Warum es unter diesen einzeln stehenden Bäumen nicht gut wächst, wird meist damit begründet, daß die Konkurrenz der Wurzeln des großen Baumes denen des Jungwuchses nicht genug Nahrung zukommen lasse. Wurzelkonkurrenz ist jetzt etwas, womit man alles mögliche und unmögliche zu erklären versucht. Es ist eben in der Forstwissenschaft noch mehr wie anderswo üblich, nach der statt nach den Ursachen zu suchen, und man beruhigt sich gern, wenn man eine gefunden zu haben glaubt. Wäre die Wurzelkonkurrenz wirklich die Hauptursache, daß es unter den einzeln stehenden Bäumen nicht gut wächst, so müßte das Wachstum unter einer Gruppe von alten Bäumen noch viel geringer sein; denn hier müßten

sich deren schädliche Wirkungen doch addieren. Aber gerade das Gegenteil ist der Fall; unter solchen Gruppen gedeiht der Jungwuchs oft so gut, daß man seine Not hat, die Althölzer beim Räumungshieb herauszubekommen. — Die Erklärung ist sehr einfach. Unter dem einzeln stehenden Baume herrscht wirklicher Schatten, der ja durch die zerstreute Zurückwerfung mehr oder weniger aufgehellt wird; zur vollen Photolyse reicht aber dies diffus reflektierte Licht nicht aus; die Gruppe dagegen zerstreut das Licht und leitet es ihnen in einer für sie günstigen Form zu.

Hiermit soll durchaus nicht der Einfluß der Wurzelkonkurrenz geleugnet werden; es wird aber ausdrücklich davor gewarnt, ihre Bedeutung zu überschätzen.

Es ist auffallend, daß der Forstwirt, sobald irgend etwas im Walde nicht so ist, wie er es gerne haben möchte, fast immer an eine Konkurrenz denkt, die irgendein Lebewesen seinem Walde bereitet. Darüber hat man die Symbiose — ich meine hiermit die weiteste Bedeutung dieses Wortes, das Zusammenleben von Organismen verschiedener Art — ganz übersehen. Im Walde muß es, wie in jeder Gemeinschaft lebender Wesen soziale Verhältnisse geben, weil sich die verschiedenen Organismen zusammen entwickelt haben und sich in das teilen gelernt haben, was ihnen der Standort bietet. Wenn unsere Waldbäume durch ungezählte Jahrtausende unter dem Schutz und Druck ihrer Mutterbäume entstanden sind, dann haben sie auch die Fähigkeit, die Konkurrenz deren Wurzeln zu ertragen; bemerkbare Schädigungen müssen deshalb wo anders gesucht werden.

38. Nach der Länge der Wellen steht dem Licht die Wärme am nächsten. Ehe wir uns aber mit dieser beschäftigen, wollen wir noch kurz die Energieform berühren, deren Wellen am längsten sind, die Elektrizität. Es geschieht dies hauptsächlich deshalb, weil in vielen Zeitschriften, besonders illustrierten, jetzt häufig über diesen Gegenstand Artikel erscheinen, die, mit Fremdwörtern und technischen Ausdrücken gespickt, den Anschein wissenschaftlicher Abhandlungen zu erwecken suchen, in Wirklichkeit aber oft nichts weiter sind, als auf Sensation und Geldschneiderei berechnete Machwerke von Personen, deren Unverfrorenheit hinter der jener bekannten und berüchtigten amerikanischen Reporter nicht zurücksteht. In diesen Artikeln wird unter genauer Angabe eines fingierten Verfahrens angegeben,

welche ungeheuere Wachstumssteigerung bei Pflanzen durch elektrische Ströme erzielt worden sein soll. Nach dem, was wir über die Kohlensäurezerlegung im grünen Pflanzenblatt wissen, ist es ganz ausgeschlossen, daß die elektrischen Wellen an dieser Zerlegung irgendwelchen Anteil haben können.

Daß man dem unverletzten lebenden Pflanzenblatt elektrische Ströme ableiten kann, ist schon lange bekannt. Daß man dies aber nur dann tun kann, wenn in der Pflanze chemische Prozesse, wie die der Kohlensäureassimilation oder Atmung vorsichgehen, ist nach dem, was wir über die elektrolytische Dissoziation wissen (S. 58), nicht auffallend. Ebenso einleuchtend ist, daß elektrische Ströme, die die Ionenwirkung in irgendeinem Pflanzenorgan beeinflussen, eine wahrnehmbare Wirkung haben müssen. Sie wirken, z. B. auf Wurzeln krümmend, je nach der Stärke positiv oder negativ.

Neuerdings, wenn dies auch sehr stark bestritten ist, wird das Absterben von Trieben und Nadeln, besonders bei Fichten, auf elektrische Erscheinungen zurückgeführt.

Zweiter Teil.

Wärme, Gase und Flüssigkeiten.

39. Wir wollen uns jetzt mit einer zweiten Form der Energie beschäftigen, die uns die Sonne zusendet, nämlich der Wärme.

Wir wissen, daß jeder Lichtstrahl zugleich ein Wärmestrahl ist und daß es andrerseits Wärmestrahlen gibt, die die Netzhaut unserer Augen nicht zu erregen vermögen. Die Unterschiede, die wir zwischen Licht und Wärme machen, sind also rein subjektiver Natur. Wir nennen alle Strahlen, die wir durch die Augen wahrnehmen, Licht, während wir die, die wir durch unsere Gefühlsnerven empfinden, als Wärme bezeichnen.

Unter gewöhnlichen Verhältnissen sieht man das Spektrum nur etwa bis zur Fraunhoferschen Linie B, also bis zu einer Wellenlänge von 687 $\mu\mu$. Durch Anwendung besonderer Hilfsmittel ist es aber sehr viel weiter sichtbar, nach von Helmholtz etwa bis zu 812 $\mu\mu$. Sehr viele Pflanzen, besonders die von besseren Standorten, verwenden zur Photolyse noch Lichtstrahlen, deren Wellen so lang sind, daß sie unter gewöhnlichen Verhältnissen auf unsere Sehnerven keinen Eindruck mehr ausüben. Bei Rotbuchenkeimlingen und Nadeln von Abies nobilis habe ich Absorptionsstreifen bis zu 710 $\mu\mu$, bei einer Clivia sogar bis 721 $\mu\mu$ gemessen, also über die Fraunhofersche Linie a hinaus. Man wird deshalb vielleicht mit der Annahme nicht fehlgehen, daß die ersten grünen Pflanzen auf der Erde die Kohlensäure mit Hilfe von Lichtstrahlen assimilierten, deren Wellen so lang waren, daß wir sie als Dunkelheit empfunden hätten.

Das Wärmespektrum ist von Rubens und Snow bis zu einer Wellenlänge von 8070 $\mu\mu$ nachgewiesen worden.

Die Wärme ist also wie das Licht eine fließende Energie, und für sie gelten in bezug auf Strahlung und Brechung dieselben Gesetze wie für das Licht. Im gewöhnlichen Sprachgebrauch wird für Wärme häufig der Ausdruck Temperatur gebraucht; wir werden aber bei unseren Betrachtungen beide Begriffe scharf trennen müssen.

Temperatur ist der Zustand, in den ein Körper durch die Wärme versetzt worden ist, den wir durch bestimmte Nerven unserer Haut als kalt, kühl, lau, warm oder heiß unterscheiden, während Wärme die Energie ist, die diesen Zustand herbeigeführt hat.

Es liegt deshalb kein Widerspruch darin, wenn wir sagen: Es ist nicht nachgewiesen, daß eine Pflanze zu ihrem Gedeihen eine bestimmte Wärmemenge nötig hat; wir wissen nur, daß sie eine bestimmte Temperatur verlangt.

40. Zur Erklärung der Wärmeerscheinungen nahm man früher einen eigentümlichen unwägbaren Wärmestoff an, der, indem er in die Körper in größerer oder geringerer Menge eindringe, ihre verschiedenen Erwärmungsgrade, ihre Ausdehnung, das Schmelzen und Verdampfen usw. hervorbringen sollte. Diese Wärmestofftheorie vermochte jedoch weder von den Erscheinungen der Wärmestrahlung noch von der Tatsache, daß durch Reibung oder überhaupt mechanische Arbeit Wärme erzeugt werden kann, befriedigende Rechenschaft zu geben. Die gegenwärtig allgemein anerkannte „mechanische Wärmetheorie“ dagegen nimmt an, daß die Wärme eine Form der Energie sei, daß sie aus anderen Energieformen entstehen und sich in andere umsetzen kann, und um sich davon eine anschauliche Vorstellung zu bilden, hat man die weitere Hypothese hinzugenommen, daß Wärme geradezu Bewegungsenergie sei, nämlich die der kleinsten Teilchen der Körper, der Moleküle, deren Bewegungen zwar wegen der Kleinheit dieser Teilchen unserem Auge nicht sichtbar sind, auf unseren Gefühlssinn aber denjenigen Eindruck hervorbringen, den wir Wärme nennen (Lommel S. 207 ff.).

Robert Mayer, der Entdecker des Gesetzes der Erhaltung der Energie, erkannte zuerst, daß zwischen Wärme und Arbeit eine unabänderliche Größenbeziehung bestehe, die ganz unabhängig davon ist, durch welche mechanischen Prozesse, Reibung, Stoß oder dergl. die Wärme erzeugt wird. Joule (1850) stellte durch

verschiedene Versuche fest, daß in allen Fällen um eine Kilogrammkalorie (das ist die Wärmemenge, die nötig ist, um ein Kilogramm Wasser um einen Grad C zu erwärmen), eine Arbeitsleistung von 427 Meterkilogrammen erforderlich war. Man nennt diese Zahl das mechanische Äquivalent der Wärme, und sie gilt ebenso für die umgekehrte Umsetzung, für die Erzeugung von Arbeit durch die Wärme. Wir haben von dieser Zahl schon einmal Gebrauch gemacht, um zu berechnen, wie groß die Energie des Lichtes nach Pferdekräften ist, die zur Erzeugung bestimmter Holzmengen auf einer gegebenen Fläche notwendig ist (S. 65). Die Einsicht, daß die Wärme nicht etwa ein Stoff, sondern Arbeit oder Bewegungsenergie ist, in Verbindung mit der Annahme, daß die Körper aus individuellen kleinsten Teilchen (Molekülen) zusammengesetzt seien, gibt nun von den Wärmeerscheinungen, die wir als Erfahrungstatsachen kennen, eine einheitliche und übersichtliche Erklärung.

Ein fester Körper ist anzusehen als eine Anhäufung (Aggregat) von Molekülen, die, ohne sich unmittelbar zu berühren, durch die zwischen ihnen tätigen Molekularkräfte zu einem Ganzen zusammengehalten werden. Die Moleküle befinden sich aber auch in ihrer jeweiligen Gleichgewichtslage nicht in Ruhe, sondern sie vollführen um diese sehr rasche Schwingungen; die Wucht, mit der die schwingenden Moleküle gegen den berührenden Finger anprallen, empfinden wir als Wärme. Der Erwärmungsgrad oder die Temperatur eines Körpers ist demnach proportional der Wucht der Bewegung seiner Moleküle, und einen festen Körper erwärmen heißt also nichts anderes, als seine Moleküle in lebhaftere Schwingungen versetzen oder ihre Schwingungsweiten vergrößern.

Indem sich aber jetzt die schwingenden Moleküle weiter als zuvor von ihren Gleichgewichtslagen entfernen, beanspruchen sie einen größeren Spielraum für ihre Bewegungen und drängen sich gegenseitig auseinander, der Körper dehnt sich aus. Der Ausdehnung widersetzen sich Molekularkräfte, deren Widerstand überwunden werden muß. Eine gewisse Menge der zugeführten Wärme wird hierzu verbraucht, sie leistet innere Arbeit. Äußere, der Ausdehnung widerstrebende Hindernisse, wie Druck eines Gases usw., erfordern gleichfalls einen Energieaufwand zu äußerer Arbeit.

Wird die Erwärmung eines festen Körpers fortgesetzt, so

wird der Zusammenhang der Moleküle immer mehr gelockert, und bei einer bestimmten Temperatur tritt eine Aufhebung des bisherigen festen Zusammenhanges ein; die Moleküle gleiten nebeneinander fort, sie verschieben sich, ohne sich aber, da ein geringer Grad von gegenseitiger Anziehung noch vorhanden ist, völlig voneinander zu trennen, der Körper wird flüssig, er schmilzt.

Ist der Schmelzpunkt erreicht, so wird die weiter zugeführte Wärme so lange zu innerer Arbeit verbraucht und verschwindet scheinbar, bis die ganze Masse des Körpers geschmolzen ist. Diese Wärmemenge nennt man die Schmelzwärme.

41. Uns interessiert hier nur die Schmelzwärme des Eises. Wenn man ein Kilogramm trockenen Schnee und ein Kilogramm Wasser von 80° C vermischt, so erhält man zwei Kilogramm Wasser von 0° C. Die 80 Wärmeeinheiten, die erforderlich waren, um ein Kilogramm Wasser auf 80° C zu erwärmen, verschwinden also scheinbar beim Schmelzen des Schnees oder Eises. Umgekehrt wird die beim Schmelzen gebundene Wärme beim Erstarren wieder frei. Jedes Kilogramm Wasser gibt also, ehe es friert, erst 80 Wärmeeinheiten an seine Umgebung ab. Diese großen Wärmemengen, die das Wasser beim Gefrieren entbindet, verzögern den Eintritt der Winterkälte.

Die Kenntnis dieses Verhaltens des Wassers erklärt uns zum Teil die Wirkungen der Entwässerung, sei es durch Röhrenleitung oder offene Gräben.

In nassen Boden wird der Frost zunächst langsamer eindringen, weil erst alle latente Wärme frei werden muß, ehe das Wasser gefrieren kann; ist er aber erst einmal gefroren, dann braucht er aber auch eine ganz außerordentliche Wärmemenge mehr, um aufzutauen, als trockener. Wenn also ganz allgemein gesagt wird, die Entwässerungen machen den Boden warm, so ist das für das Frühjahr, wo dem Landwirt am meisten daran gelegen ist, allerdings zutreffend, für den Eintritt des Winters aber falsch.

Wir sprachen vorhin davon, daß durch das Erwärmen der Körper die Schwingungsweiten ihrer Moleküle vergrößert werden, und daß sie sich infolgedessen ausdehnen. Abweichend hiervon verhält sich das Wasser, das bei 4° C seine größte Dichte hat, also den geringsten Raum einnimmt und deshalb am schwersten

ist. Ein Liter Wasser von 4° C wiegt bekanntlich ein Kilogramm, ein Liter Eis aber nur 0,92 Kilogramm. Wasser von 4° Wärme dehnt sich also, bis es friert, um etwa 11% aus. — Eine Folge der verschiedenen spezifischen Gewichte des Wassers und des Eises ist, daß Eis auf dem Wasser schwimmt und dadurch Flüsse und Seen vor dem völligen Ausfrieren geschützt werden.

Wichtiger ist für uns die Ausdehnung des Wassers beim Gefrieren. Viele Pflanzen, deren Gewebe viel Wasser enthalten, gehen in dem Moment zugrunde, in dem die Eisbildung stattfindet. Kartoffeln z. B. können, wenn die Eisbildung verhindert wird, bei −2° am Leben bleiben, während sie, wenn sich Eis bildet, bei −1° C absterben. In solchen Fällen muß also die Bildung des Eises die Todesursache sein. — Wir wissen, daß die jungen wasserreichen Triebe und Blätter vieler Bäume, z. B. der Buchen und Eichen, schon bei wenig Kälte erfrieren, während sie später, wenn sie wasserärmer geworden sind, viel weniger oder gar nicht mehr leiden. Es liegt nahe, bei diesem Erfrieren an die sprengende Wirkung des Eises zu denken.

Eine weitere recht unangenehme Eigenschaft der Ausdehnung des frierenden Wassers ist das sogenannte Auffrieren des Bodens und die hierdurch bewirkte Hebung der Holzpflanzen. Es ist ja ganz klar, daß ein Körper, der sich wie das Wasser bei einer Temperaturerniedrigung von nur wenigen Graden um 11% ausdehnt, wenn er einem anderen Körper in erheblicher Menge beigemengt ist, in diesem sprengende Wirkungen hervorrufen muß. Das sicherste Mittel gegen das Auffrieren muß demnach Verringerung des Wassergehaltes des Bodens, also Entwässerung, sein.

Auffrieren und Erfrieren sind für den Forstwirt unangenehme Erscheinungen; wir dürfen aber nicht übersehen, daß diese Nachteile verschwindend klein sind im Vergleich zu dem Nutzen, den uns das sprengende Eis bei der Verwitterung leistet. Wir wirtschaften in der Regel auf Böden, die der Landwirt nicht mehr brauchen kann und ernten in den meisten Fällen, ohne nachher wieder zu düngen. Der Boden enthält in den Gesteinsresten so viel Pflanzennährstoffe, daß passende Holzarten dauernd auf ihm gedeihen können, und was ihm noch etwa fehlt, liefern kleine Organismen, wenn man ihnen die Lebensbedingungen schafft und erhält, deren sie bedürfen. Damit die Pflanzen aber die in den Gesteinen vorhandenen Nährstoffe aufnehmen können,

müssen diese durch Verwitterung löslich gemacht werden, und hierzu trägt die sprengende Wirkung des frierenden Wassers bei, indem es die mechanische Zerkleinerung des Gesteines bewirkt oder doch wenigstens vorbereitet. Es versteht sich deshalb ganz von selbst, daß schon aus diesem Grunde auch im Winter eine genügende Menge von Wasser im Boden vorhanden sein muß. Wenn man demnach sagt, der Frost lockert den Boden, so ist dieser Ausdruck nicht umfassend genug, man muß noch hinzusetzen: und schließt ihn auf. Aus diesem Grunde ist es wichtig, daß alle Erdarbeiten im Walde, soweit es möglich ist, im Herbste ausgeführt werden und daß der Boden rauh liegen bleibt, um das Eindringen des Wassers zu begünstigen.

42. An der freien Oberfläche der Flüssigkeiten werden diejenigen Moleküle, die die Grenze des Wirkungskreises ihrer Nachbarmoleküle überschreiten, von diesen nicht mehr zurückgezogen, sondern sie fliegen mit der Geschwindigkeit, die sie im Augenblicke des Überschreitens besaßen, in den über der Flüssigkeit befindlichen Raum geradlinig hinaus. Diese frei dahinfliegenden, von den Fesseln der Kohäsion befreiten Moleküle befinden sich nun im gas- oder luftförmigen Zustande, sie bilden den aus der Flüssigkeit sich entwickelnden Dampf. — Dieses Verdampfen, nämlich das Sichloslösen und Fortfliegen einzelner Moleküle von der Oberfläche der Flüssigkeit, findet bei jeder Temperatur statt, jedoch selbstverständlich um so reichlicher, je höher die Temperatur der Flüssigkeit, d. h. je lebhafter die Bewegung ihrer Moleküle ist. Der Druck des Dampfes wird durch die Stöße der dahinfliegenden Moleküle gegen die Gefäßwände hervorgebracht, von denen sie, ähnlich wie elastische Bälle, zurückgeworfen werden. — Die gegen die Flüssigkeitsoberfläche zurückkehrenden Moleküle werden daselbst entweder wieder reflektiert oder zurückgehalten und der Flüssigkeit wieder einverleibt, je nachdem die Bewegungsenergie an der getroffenen Stelle größer oder kleiner ist. Im begrenzten Raume wird daher die Anzahl der Dampfmoleküle so lange zunehmen, bis in gleicher Zeit ebensoviele Moleküle die Oberfläche der Flüssigkeit verlassen, als dahin zurückkehren. Dann ist der stationäre Sättigungszustand oder das Maximum der Spannkraft erreicht. (Lommel S. 211.)

43. Die ganz ruhig an der Oberfläche der Flüssigkeit vorsichgehende Dampfbildung nennt man Verdunstung.

Da die Verdunstung um so reichlicher ist, je lebhafter die Bewegung der Moleküle, d. h. je höher die Temperatur ist, so entspricht jeder Temperatur eine bestimmte Spannkraft des gesättigten Dampfes.

In ruhiger Luft sättigt sich die mit der Flüssigkeitsoberfläche in unmittelbarer Berührung stehende Luftschicht mit Dampf, den sie nur sehr langsam durch allmählichen Austausch (Diffusion) an die darüber befindlichen Luftschichten abgibt und der sonach die Verdunstung hemmt. — Bei Windstille trocknet es schlecht, wie allgemein bekannt ist. Luftzug entführt gesättigte Luft und bringt an ihre Stelle ungesättigte, befördert also die Verdunstung.

Haare auf Pflanzentrieben und Blättern wirken der Verdunstung dadurch entgegen, daß die zwischen ihnen befindliche Luftschicht vom Winde weniger leicht hinweggeführt und deshalb leichter gesättigt werden kann. Deshalb haben auch viele Pflanzen, deren junge Triebe und Blätter besonders zart sind, Haare, die sie später wieder verlieren, z. B. die Buchen.

Es leuchtet ohne weiteres ein, daß die Verdunstung um so lebhafter sein wird, je weniger Gasmoleküle der betreffenden Flüssigkeit sich bereits in der sie umgebenden Luft befinden, je weiter diese also von ihrem Sättigungspunkt entfernt ist.

44. Das Verhältnis nun des in der Luft wirklich vorhandenen Dampfgehaltes zu dem, der bei der herrschenden Temperatur bis zur Sättigung enthalten sein könnte, nennt man relative Feuchtigkeit. — Um sie zu berechnen muß man wissen, welche Mengen von Wasserdampf bei den verschiedenen Temperaturen in der Luft enthalten sind, wenn diese gesättigt ist, und wie groß der wirkliche Gehalt des in einem Kubikmeter Luft gasförmig vorhandenen Wasserdampfes, die absolute Feuchtigkeit der Luft, ist.

Der Temperaturgrad, bei dem sich aus nicht gesättigter Luft durch Abkühlung Wasserdampf abzuscheiden beginnt, heißt der Taupunkt. Es taut also, wenn sich nichtgesättigte Luft abkühlt, und da diese Abkühlung besonders an Gegenständen stattfindet, die Wärme leicht ausstrahlen, wie Gras, so werden diese früher feucht als solche, deren Wärmeausstrahlung geringer ist.

45. Der Einfluß, den die relative Feuchtigkeit der Luft auf das Gedeihen unserer Holzgewächse ausübt, ist sehr groß, bisher aber nicht genügend gewürdigt worden. Die durchschnittliche relative Luftfeuchtigkeit und ihre Extreme nach untenhin sind

in vielen Fällen bestimmend, ob eine Holzart auf gewissen Standorten überhaupt auf die Dauer leben kann.

In erster Linie meine ich hier die Lärche. Sie hat ein wertvolles Holz, ist ziemlich schnellwüchsig und wohl allen Forstleuten sympathisch. Deshalb hat man wohl kaum für eine andere Holzart bei Anbauversuchen so viel Zeit, Mühe und Geld geopfert als für die Lärche, und leider meist vergeblich.

In ihrer Jugend macht sie uns Freude; sie ist verhältnismäßig leicht zu ziehen, Samenjahre sind häufig, und da sie zunächst sehr vorwüchsig ist, macht sie uns keine Sorgen. Die beginnen aber, sobald sie älter wird und die Kronen des Bestandes, in den sie eingesprengt ist, sie im Wuchse einholen, dann fängt sie an zu kümmern und abzusterben. — Da sich rechtzeitig ein Pilz auf ihr angesiedelt hat, heißt es natürlich: Der Pilz tötet die Lärche. — Warum tötet er aber nur Lärchen auf bestimmten Standorten und warum nicht alle?

Es wird wohl kaum Lärchen vom Stangenholzalter an geben, auf denen man den Lärchenpilz nicht so reichlich fände, daß er sie töten müßte, wenn er es könnte. Die Tatsache, daß jede ältere Lärche von Peziza Willkommii bewohnt wird, dürfte doch wohl genügen, um zu beweisen, daß die Lärche, wie jede andere Pflanze, solange sie auf dem richtigen Standort steht und nicht durch fremde Einflüsse geschädigt wird, die Fähigkeit hat, sich gegen parasitische Pilze zu schützen. — Nicht der Pilz macht die Lärche krank und tötet sie, sondern die ganze Lärche oder einzelne Teile von ihr sind schon krank, und nur deshalb, weil sie es sind, kann sie der Pilz töten.

Es liegt mir vollständig fern, die Nützlichkeit des Studiums der parasitären Pilze bestreiten zu wollen, im Gegenteil, wir verdanken gerade diesem Studium sehr viel; aber ich glaube, daß jetzt der größte Schaden, den die Pilze im Walde anrichten, darin besteht, daß jeder sein Gewissen sofort beruhigt fühlt, sobald er bei irgendeiner mißlungenen Sache den „richtigen" Pilz gefunden hat. — Das ist natürlich viel leichter und bequemer, als danach zu forschen, wie es dem Pilz überhaupt möglich war, der Pflanze beizukommen. Wenn Pilze im Walde verheerend auftreten können, dann sind sicher immer schwere Wachstumsschädigungen oder Verletzungen vorhergegangen.

Man wird mir die Schütte der jungen Kiefern entgegenhalten. Ich brauche hierauf nur zu erwidern, daß die Schütte

als Kinderkrankheit Pflanzen befällt, die noch in der Entwicklung begriffen und deshalb weniger widerstandsfähig sind, und daß vor allen Dingen unsere jetzige Kiefernkultur mit ihrer Kahlschlagwirtschaft den Verhältnissen nicht im entferntesten entspricht, unter denen die Kiefer sich durch ungezählte Jahrtausende hindurch entwickelt hat. Man denke ferner an die Gewinnung des Samens. Entspricht diese auch nur annähernd den natürlichen Verhältnissen? Ist es nicht selbstverständlich, daß so flüchtige Öle, wie die des Kiefernsamens, durch die hohen Darrtemperaturen verändert werden müssen, daß ein Teil des Sameneiweißes durch sie zum Gerinnen gebracht werden muß? Wie anders darrt dagegen die Natur! — Ich glaube bestimmt, daß die Schütte der einjährigen Kiefern nicht zum geringsten Teile den hohen Darrtemperaturen zuzuschreiben ist. Auch das lange Lagern des Kiefernsamens ist diesem nicht günstig, wie schon aus dem starken Rückgange der Keimprozente ersichtlich ist. — Es wird also nicht bestritten werden können, daß die aus dem durch die jetzt üblichen Darrverfahren gewonnenen Kiefernsamen erzogenen jungen Kiefern eine besondere Disposition für Jugendkrankheiten haben müssen. —

Nach diesen Abschweifungen wollen wir uns wieder der Lärche zuwenden.

Ich hatte behauptet, daß Peziza Willkommii nicht die primäre Ursache ihres Absterbens sei, sondern nur eine sekundäre, und ich glaube den Beweis dafür erbringen zu können.

Bei meinen Untersuchungen war mir aufgefallen, daß die Lärchen überall da abstarben, wo die relative Luftfeuchtigkeit längere Zeit sehr niedrig war, während sie da, wo feuchte Wiesen, größere Wasserflächen, Brücher usw. in der Nähe waren, die relative Luftfeuchtigkeit dementsprechend also höher war, auch im Flachlande gut gediehen. Verschiedene Wegeaufhiebe, die das Sinken der relativen Luftfeuchtigkeit beförderten, hatten zur Folge, daß Lärchen, die bis dahin üppig gediehen waren, plötzlich erkrankten und abzusterben begannen. — Nun ist ja bekannt, daß die Pflanzen Mittel haben, sich gegen die Nachteile zu starker Verdunstung zu schützen, und daß eines der wirksamsten dieser Mittel die Ausbildung einer starken Korkhaut oder Cuticula auf den Blättern ist. Diese Cuticula bildet die äußerste Schicht der Oberhaut oder Epidermis.

Die Fähigkeit einer Pflanze, sich den Verdunstungsverhältnissen

verschiedener Standorte anzupassen, ist davon abhängig, ob sie nach Bedarf eine stärkere Cuticula bilden kann. — Kork, aus dem die Cuticula besteht, ist für Wasser und dessen Dämpfe fast undurchlässig und ein geradezu idealer Schutz gegen die Verdunstung.

Da aber, wie wir bereits gesehen haben, zu seiner Erzeugung etwa der doppelte Energieaufwand erforderlich ist wie für Holz, und im Pflanzenleben das Gesetz der Sparsamkeit mit an erster Stelle steht, so bilden die Pflanzen die Cuticula in der Regel nur dann stark aus, wenn dies der Standort bedingt, und diejenigen, die nicht die Fähigkeit haben, sich extremen Verhältnissen anzupassen, sind unter solchen auch nicht lebensfähig. — Zu diesen gehört auch unsere Lärche.

Man kann die Cuticula bei mikroskopischen Schnitten durch Jod und Schwefelsäure färben und dann ihre Dicke mikrometrisch bestimmen. Für einzelne Holzarten und Standorte habe ich dies getan und führe die gefundenen Zahlen hier an, muß aber auch hierbei wieder ausdrücklich davor warnen, diese meist auf wenigen Messungen beruhenden Ergebnisse als unbedingte und für alle Fälle gültige Zahlenwerte anzusehen und sie zu verallgemeinern; denn gerade hier, wo Aussicht vorhanden ist, wichtige Aufschlüsse über das Verhalten unserer Holzarten zu erlangen, wäre es erwünscht, wenn ähnliche Untersuchungen möglichst zahlreich ausgeführt und veröffentlicht würden.

Der Einheitswert des von mir zu diesen Messungen benutzten Okularmikrometers beträgt $^1/_{560}$ Millimeter. Von diesen Einheitswerten betrug die Dicke der Cuticula bei:

Stieleiche, Sonnenblatt	. . . . .	5	Einheiten
Schwarzerle „	. . . . .	7	„
Kiefer „	. . . . .	5	„
Fichte „	. . . . .	6	„
Esche „	. . . . .	3	„
Bergahorn „	. . . . .	2	„
Spitzahorn „	. . . . .	4	„
Pinus strobus „	. . . . .	2	„
Weißtanne „	. . . . .	3	„
Lärche „	an einem Teich	1,5	„
dgl. „	an der Südseite eines Felsens	2	„

Auffallend sind zunächst die starke Cuticula der Schwarzerle und der Fichte. Für Schwarzerle, die sich ja auch hinsichtlich der Pallisadenbildung abweichend verhält (S. 77), kann ich vorläufig noch keinen Grund für die Ausbildung einer so starken Cuticula finden; bei Fichte dagegen erklärt sie sich leicht aus der flachen Bewurzelung und der dadurch beschränkten Feuchtigkeitsaufnahme. — Wer sich daran erinnert, daß die Fichte oft auf nacktem Felsen wächst und nur einige Wurzeln in deren Spalten senden kann, wird es erklärlich finden, daß sie gegen unfreiwillige Feuchtigkeitsabgabe geschützt sein muß, zumal sie an sonnigen Felsabhängen oft einer sehr starken Strahlung ausgesetzt ist.

Sonst braucht diesen Zahlen wohl kaum etwas hinzugesetzt zu werden, die Schlußfolgerungen, die man aus ihnen ziehen muß, ergeben sich eigentlich von selbst. — Man darf also keine Holzart mit auffallend dünner Cuticula, wie die Lärche und Pin. strobus, auf Standorten anbauen, auf denen die relative Luftfeuchtigkeit längere Zeit tief sinkt, weil sie auf diesen durch die zu starke Verdunstung des in den Nadeln enthaltenen Wassers krank und dann schließlich durch sekundäre Pilze getötet werden. — Es ist ja eigentlich selbstverständlich, daß Pin. strobus auch einen zugehörigen Pilz besitzen muß, den man für die Mißerfolge bei ihrem Anbau verantwortlich machen kann. —

Interessant ist es, die Ergebnisse der Ermittlungen über den Dürreschaden im Sommer 1904 (Junack, „Die Dürre des Sommers 1904 im deutschen Walde", Deutsche Forstzeitung 1906, Nr. 39—41) mit den Cuticulastärken zu vergleichen. Übereinstimmend werden in ihnen Lärche und Pin. strobus als die Holzarten bezeichnet, die am meisten durch Dürre gelitten haben, und am günstigsten verhielten sich Kiefer und Eiche.

Bei Bergahorn und Weißtanne weiß man, daß sie Gebirgspflanzen sind und daß sie von Natur im Gebiete der höheren relativen Feuchtigkeit vorkommen. Die Esche baut man nur auf feuchten Standarten, weil man annimmt, daß sie viel Feuchtigkeit durch die Wurzeln aufnehmen muß: in Wirklichkeit ist es aber die hohe relative Luftfeuchtigkeit, die für sie Lebensbedingung ist: denn wenn diese dauernd vorhanden ist, so begnügt sie sich auch mit trocknerem Boden, wie man im Gebirge leicht feststellen kann.

Es ist bisher mit dem Gebirge der Begriff höherer relativer Feuchtigkeit verknüpft worden, dies bedarf aber noch der Ein-

schränkung; denn auch im Gebirge gibt es Standorte, auf denen die relative Luftfeuchtigkeit regelmäßig sehr tief sinkt, und es ist bekannt, daß die Lärche auch im Gebirge an vielen Orten regelmäßig abstirbt. Gerade dies Verhalten hat dazu beigetragen, sie zu einem hinsichtlich ihres forstlichen Verhaltens so rätselhaften Baume zu stempeln, „sie soll ein Gebirgsbaum sein und kommt doch selbst im Gebirge oft nicht fort".

Wie soll man aber feststellen, wo man die Lärche mit Aussicht auf Erfolg anbauen kann? Man kann doch nicht vorher längere Zeit hindurch die Luftfeuchtigkeit der verschiedenen Revierteile psychrometrisch bestimmen; dazu hat man keine Zeit, abgesehen davon, daß solche Messungen nur ein sehr mäßiges Vergnügen bereiten; denn es genügt nicht, wie es die forstlichen Versuchsanstalten getan haben, an bestimmten Orten zu bestimmten Zeiten gewisse meteorologische Beobachtungen anzustellen, wir müssen vielmehr von den verschiedensten Standorten und Lagen den Gang der Temperaturen und der relativen Feuchtigkeit kennen zu lernen bestrebt sein und besonders deren Extreme und deren Dauer zu ermitteln suchen, um diese Kenntnisse als Anhalt für andere Fälle benutzen zu können. Dies würde sich am leichtesten und billigsten durch selbstregistrierende Instrumente erreichen lassen, deren Genauigkeit für unsere Zwecke vollständig ausreichend sein würde. Wir würden durch solche Beobachtungen nicht nur wichtige Aufschlüsse über die Anbaumöglichkeit einzelner Holzarten auf verschiedenen Standorten erhalten, sondern wir würden auch, wie wir später noch sehen werden, darüber belehrt werden, welchen Einfluß unsere wirtschaftlichen Maßregeln auf die Vermehrung oder Verminderung der Frostgefahr ausüben; denn die Frostgefahr steht in einem ganz bestimmten Verhältnis zur relativen Feuchtigkeit.

Messungen, wie sie eben verlangt wurden, fehlen noch vollständig. Ausführen lassen kann sie nur der Staat, dem die nötigen Mittel und ein genügend großes Beobachtungsgebiet zur Verfügung stehen. Solange wir also noch so wenig über diesen Gegenstand wissen wie jetzt, werden wir weiter im Dunkeln heruntappen und uns damit trösten müssen, daß es uns auf vielen wichtigen waldbaulichen Gebieten nicht besser ergeht.

Wir hätten also vorläufig nur die Wahl, in der bisherigen Weise mit dem Lärchenbau durch ziemlich planloses Probieren fortzufahren, wenn uns nicht theoretische Erwägungen in den

Stand setzten zu beurteilen, auf welchen Standorten regelmäßig niedrige relative Luftfeuchtigkeiten von längerer Dauer herrschen müssen.

Wir werden uns das am besten an einigen Beispielen klar machen können und wollen hierzu die Beobachtungsergebnisse der forstlichen Versuchsanstalten benutzen. Aus dem 23. Jahrgang für das Jahr 1897 (Verlag von J. Springer 1899) wählen wir uns als Flachlandstation Kurwien und aus dem Gebirge Carlsberg. Es wird genügen, einige Zahlen miteinander zu vergleichen. — Auf Seite 57 und 58 dieser Jahresberichte finden wir die Mittel für Temperaturen und Feuchtigkeit in den Jahren 1886 bis einschließlich 1890 zusammengestellt.

Es betrugen hiernach auf den Feldstationen:

	Temperatur in Graden nach Celsius		Feuchtigkeit in mm absolute		Feuchtigkeit nach Prozenten relative	
	8. a	2. p	8. a	2. p	8. a	2. p
Kurwien im Mai	14,4	19,7	8,4	7,8	67	48
Carlsberg „ „	10,6	13,8	7,7	8,2	79	70
Kurwien im Juni	17,1	21,3	9,4	8,7	65	49
Carlsberg „ „	12,7	15,2	9,0	9,5	81	74
Kurwien im Juli	18,2	23,0	11,3	10,6	73	53
Carlsberg „ „	13,8	17,2	9 9	10,4	83	71
Kurwien im August	16,6	22,6	11,1	10,8	78	54
Carlsberg „ „	13,7	17,3	9,7	10,1	83	69
Kurwien im Sept.	11,7	18,1	9,1	9,1	86	60
Carlsberg „ „	10,1	13,3	8,2	8,5	87	74

Wir wollen uns diese Zahlen etwas genauer ansehen.

Im Mai betrug in Kurwien die Mitteltemperatur um 8 Uhr vormittags 14,4°; der Dampfdruck der zur gleichen Zeit gemessenen mittleren absoluten Feuchtigkeit war einem Quecksilberdruck von 8,4 mm, d. s. 67 % von dem Druck, den bei diesen mittleren Temperaturen gesättigter Wasserdampf ausüben würde, gleich. — Nun steigt die Temperatur, bis sie um 2 Uhr nachmittags den Mittelwert von 19,7° erreicht. Durch Aufsteigen des spezifisch leichteren Wasserdampfes, Winde usw. wird mehr Wasserdampf hinweggeführt, als sich durch Verdunsten aus dem Boden bilden kann, deshalb sinkt die absolute Feuchtigkeit auf 7,8 mm. Das Dampfdruckmaximum ist aber entsprechend der steigenden Temperatur erheblich gestiegen, denn je wärmer die Luft ist, um so mehr Wasserdampf ist nötig, ehe sie gesättigt ist. Die relative Feuchtig-

keit sinkt deshalb auf den Mittelwert von 48 %; die Verdunstung ist sehr stark und die Luft, wie man gewöhnlich sagt, sehr trocken.

Anders ist es in Carlsberg. Die Temperatur stieg im Mai von 8 Uhr bis 2 Uhr im Durchschnitt nur von 10,6 auf 13,8°. In der sehr niederschlagsreichen Gegend war zur Verdunstung genug Wasser im Boden, und deshalb steigt auch die absolute Feuchtigkeit von 7,7 auf 8,2 und die relative sinkt nur auf 70 %. — Die übrigen Monate verhalten sich ähnlich. Im Juli, August und September war sogar in Carlsberg die durchschnittliche absolute Feuchtigkeit geringer, trotzdem war in Kurwien die relative Feuchtigkeit um 2 Uhr nachmittags durchschnittlich niedriger, weil die Temperaturen hier höher waren. Besonders ungünstig für die relative Luftfeuchtigkeit ist es, daß die Menge des Wasserdampfes, der zur Sättigung der Luft erforderlich ist, viel schneller wächst als die Temperatur. Es müssen nämlich zur Sättigung der Luft in einem Kubikmeter an Wasserdampf in Grammen enthalten sein: bei 0° = 4,9, bei 5° = 6,8, bei 8° = 8,2, bei 10° = 9,4 bei 15° = 12,7, bei 20° = 17,1, bei 25° = 22,8, bei 30° = 30,1 und bei 35° = 39,2 Gramm.

Wenn also bei 70 % relativer Feuchtigkeit, wie sie in Carlsberg um 2 Uhr nachmittags, der Zeit des in der Regel tiefsten Standes, in den fünf Sommern der Tabelle vorhanden war, bei einer Temperatur von 15° 8,9 Gramm Wasserdampf in einem Kubikmeter Luft enthalten waren, so müßte, wenn die relative Feuchtigkeit nicht sinken sollte, die Verdunstung von Wasser bei steigender Temperatur so zunehmen, daß bei 20° 12 Gramm, bei 25° 16 Gramm, bei 30° 21 Gramm und bei 35° 27,4 Gramm Wasserdampf vorhanden waren, oder umgekehrt würde bei gleichbleibendem Wasserdampfgehalt der Luft die relative Luftfeuchtigkeit bei steigender Temperatur fallen: von 70 % bei 15° auf rund 52 % bei 20, auf 39 % bei 25, auf 30 % bei 30 und auf 23 % bei 35°.

Es werden also alle die Standorte, die einer starken Sonnenstrahlung ausgesetzt und nicht so feucht sind, daß die absolute Feuchtigkeit erheblich steigen kann, unter den Schädigungen der niedrigen relativen Feuchtigkeit zu leiden haben. Das sind im Gebirge die trockenen Süd- und Südwesthänge und im Flachlande alle Lagen, die nicht entweder selbst erheblich feucht sind oder sich nicht wenigstens in der Nähe größerer Flächen

befinden, die, wie Seeen, feuchte Wiesen, Brücher usw., große Wassermengen verdampfen. Auf allen diesen Standorten, die in der Wachstumszeit relativ niedrige Luftfeuchtigkeit haben, Holzarten mit dünner Cuticula anzubauen, ist zwecklos. — Daß in solchen Lagen die relative Feuchtigkeit tatsächlich oft unter 25 % sinkt, kann jeder leicht feststellen.

Die Lärche ist also kein Baum des Gebirges; sie ist nur im Gebirge verbreiteter, weil dort die Luftfeuchtigkeit allgemein höher ist als im Flachlande. — Pfeil (Kritische Blätter, Band 40, Heft 1, Seite 180 ff.) bezeichnet als eigentliche Heimat der Lärche die Gegenden mit einer mittleren Jahrestemperatur von + 3 bis 5 ° C und hebt ausdrücklich hervor, daß große Wärme einen ungünstigen Einfluß auf sie ausübt. Nach seinen Beobachtungen zieht sie Mitternachtseiten den Südseiten vor und verlangt eine geschützte Lage. — Dies sind aber alles Standorte mit hoher relativer Luftfeuchtigkeit.

Es bleibt noch das auffallende Verhalten der Lärche in ihrer Jugend zu erklären. — Solange sie mit ihrer Krone über ihre Nachbarn hinwegragt, gedeiht sie gut, fängt aber an abzusterben, sobald sie in den Bestandsschluß hineinwächst.

Es ist bekannt, daß wachsende Pflanzen sehr große Mengen Wasser verdunsten. Nach von Hönel (bei Jost S. 31) gibt eine große Birke im Laufe eines Sommers 7000 Kilogramm Wasser ab, an einzelnen Tagen 38 Kilogramm. Eine 110jährige Buche verdunstet rund 9000 Kilogramm und ein 110jähriger Buchenbestand 3 600 000 Kilogramm Wasser pro Hektar in einem Sommer, was einer Niederschlagshöhe von 36 cm entsprechen würde, die allein zur Verdunstung durch die Blätter erforderlich wäre.

Leider haben sich die Beobachtungen der forstlich-meteorologischen Stationen nicht auf die Luftfeuchtigkeit über den Baumkronen erstreckt. Einzelbeobachtungen haben wenig Wert, und es wäre deshalb zu wünschen, daß mit der Erforschung auch dieses Gebietes systematisch vorgegangen würde. Daß die Ergebnisse von denen unter den Baumkronen abweichen müssen, leuchtet ohne weiteres ein, wenn man bedenkt, welche enormen Wassermengen durch die Baumkronen zur Verdunstung kommen.

Leider sind auf den Stationen Kurwien und Carlsberg keine Beobachtungen in oder, wie es richtiger heißen würde, unter den Baumkronen angestellt worden. — (Die Instrumente, die im

Jahre 1876 in Eberswalde in einem damals 45jährigen Kiefernbestande in einer Höhe von 12 m über dem Erdboden aufgestellt worden sind, werden im Jahre 1886, von welchem ab wir die Messungsergebnisse vergleichen wollen, inzwischen wohl unter die Baumkronen gekommen sein.) —

Wir entnehmen die Zahlen für unsere Vergleiche wieder dem bereits erwähnten Jahresberichte, und zwar für die Jahre 1886—1890 einschließlich. Wir beschränken uns auf Eberswalde, da die anderen Stationen ähnliche Ergebnisse gehabt haben.

	Temperatur in Graden nach Celsius		Feuchtigkeit in mm absolute		Feuchtigkeit nach Prozenten relative	
	8. a	2. p	8. a	2. p	8. a	2. p
Waldstation im Bestande. Höhe vom Erdboden						
1,3 m im Mai	12,8	18,0	8,6	8,9	75	58
Unter d. Baumkronen, 12 m vom Erdboden im Mai	13,1	17,9	8,0	7,7	69	50
Am Erdboden 1,3 m hoch im Juni	15,6	20,2	10,2	10,4	76	59
Unter den Baumkronen im Juni	15,9	20,1	9,4	8,8	69	51
Am Erdboden im Juli	16,0	20,5	11,3	11,8	82	65
Unter den Baumkronen im Juli	16,4	20,5	10,6	10,2	75	57
Am Erdboden im August	15,2	20,8	11,1	11,4	85	62
Unter den Baumkronen im August	15,6	20,8	10,5	9,8	78	54
Am Erdboden im Septbr.	11,0	17,7	9,1	9,7	89	64
Unter den Baumkronen im Septbr.	11,3	17,7	8,8	8,3	85	54

Wir sehen aus diesen Zahlen, daß im Walde in der Nähe des Erdbodens die absolute Luftfeuchtigkeit von 8 Uhr vormittags bis 2 Uhr nachmittags regelmäßig gestiegen ist, während unter den Baumkronen das Umgekehrte der Fall war.

Die relative Feuchtigkeit war unter den Baumkronen auch durchweg niedriger, und es ließe sich wohl denken, daß die Lärche, die mit ihrer Krone in den Bestandesschluß hineinwächst, dort Luft von erheblich geringerer relativer Feuchtigkeit vorfindet, als ihr früher zur Verfügung stand.

46. Wir haben eben die Beziehungen zwischen Lufttemperatur und -Feuchtigkeit im Sommer besprochen; es bleibt noch zu untersuchen, in welchem Verhältnis Wärme und Luftfeuchtigkeit in den

Frostlagen stehen. Wer kennt sie nicht, die sog. Frostlöcher? Welcher Aufwand an Arbeit und Geld ist nicht erforderlich, um auf ihnen einen Bestand zu erziehen! Die Forstleute der alten Schule sprechen in ihrer bilderreichen Sprache von Kriechfrösten, denen sie die nachteiligen Einflüsse auf die Pflanzen zuschieben. Sie verbinden damit die Vorstellung, daß etwas Schädliches auf die Kulturen kriecht. Die wissenschaftlich Gebildeten führen die Frostwirkung auf Verdunstungskälte zurück; für die meisten ist dies Wort aber auch nur ein ziemlich leerer Begriff, der nur eine bekannte Tatsache zum Ausdruck bringt, ohne aber eine Erklärung des inneren Zusammenhanges zwischen Kälteerzeugung und Verdunstung geben zu können.

Eine Vorstellung, wie ein Körper durch Verdunstung Wärme verliert, kann uns nur die mechanische Wärmetheorie geben, mit der wir uns bereits beschäftigt haben. — Bei der Verdampfung fliegen stets diejenigen Moleküle davon, die zufällig die größte Geschwindigkeit besitzen; es muß demnach die durchschnittliche Bewegungsenergie der zurückbleibenden geringer werden, d. h. der verdunstende Körper kühlt sich ab, und diese Abkühlung nennt man Verdunstungskälte. Wenn also in einzelnen Lagen im Walde die Temperatur regelmäßig unter 0^{0} sinkt, während sie zu derselben Zeit auf anderen Flächen noch etwas über 0^{0} bleibt, dann müssen an den erstgenannten Orten zweierlei Bedingungen erfüllt werden: die Verdunstung muß an ihnen stärker sein als anderswo, und es muß genügend Feuchtigkeit vorhanden sein, durch deren Verdunstung Wärme gebunden werden kann.

Diese Feuchtigkeit kann aus dem Boden stammen, und wir wissen, daß Frostlagen in der Regel feucht sind, oder sie wird jungen Pflanzenteilen entzogen, deren Schutzmittel gegen Verdunstung noch sehr unausgebildet sind.

Frostlöcher hören auf solche zu sein, sobald der auf ihnen wachsende Bestand eine gewisse Höhe erreicht hat. Es wird dann wohl die Verdampfung des Wassers auf dem Boden verlangsamt; aber das ist nicht der einzige Grund. Wenn für das Vorhandensein von Frostlöchern nur feuchter Boden Bedingung wäre, dann stände es schlecht um unsere Kulturen.

Wir erwähnten vorhin, daß die Verdunstung in den Frostlöchern stärker sein müsse als anderswo, und wir wollen auf die Ursachen, die diese Erscheinung hervorrufen, etwas näher eingehen, weil ihre Kenntnis geeignet ist, das Entstehen vieler Frost-

löcher, die ihr Dasein falschen wirtschaftlichen Maßregeln verdanken, zu vermeiden.

Suchen wir uns also einmal im Walde ein solches Frostloch auf, das sich durch sein Aussehen ja schon von weitem kenntlich macht. — Auf einem Buchenräumungsschlage finden wir eine kesselartige Einsenkung. Auf dem feuchten bruchigen Boden ist eine ausreichende Besamung nicht eingetreten; die Fläche ist deshalb mit Eschen bepflanzt worden. — Zunächst sah die Sache ja ganz schön aus, dann kamen im Mai einige heiße Tage, die Buchen werden grün und auch Eichen und Eschen treiben. — Mit Sorgen sieht der Förster all diese Pracht; er traut dem Frieden nicht eher, bis der letzte Eisheilige vorbei ist, zumal der Wind sich bedenklich nach Osten zu drehen beginnt. — Da kommt ein außergewöhnlich heißer Tag. Die Temperatur steigt ständig, bis sie um 4 Uhr nachm. mit 24° C ihren Höhepunkt erreicht hat, um dann plötzlich stark abzufallen. — Bei einer um 4 Uhr vorgenommenen psychrometrischen Messung sinkt das feuchte Thermometer auf 14°. Mit Hilfe der Psychrometertafeln stellen wir fest, daß die absolute Luftfeuchtigkeit nur 6 Gramm in einem Kubikmeter beträgt, die relative auf 26% gesunken ist, und daß der Taupunkt bei 3,4° liegt. Da es bei ruhigem Wetter und klarem Himmel in der Regel taut, die Temperatur also auf den Wärmezustand sinkt, bei dem die Luft mit Wasserdampf gesättigt ist, so liegt für die freien Flächen eine erhebliche Frostgefahr noch nicht vor; in Wirklichkeit zeigt das Minimumthermometer auch am nächsten Morgen als niedrigste Nachttemperatur noch 5° an; aber wie mag es wohl jetzt in unserem Frostloche aussehen? Leider war es uns nicht möglich gewesen, am kritischen Nachmittag auch dort Temperaturen und Feuchtigkeit zu messen; wir wissen aber von früheren Messungen her, daß in diesen Frostlagen die Temperaturen bei Sonnenschein extrem hoch steigen, und daß gleichzeitig die relative Luftfeuchtigkeit bis zu 20% niedriger sein kann als an benachbarten Orten. — Wir können also mit ziemlicher Sicherheit annehmen, daß es in der Nacht in dem Frostloche gefroren haben wird und begeben uns dorthin. Wir haben uns nicht getäuscht; denn nicht nur auf der feuchten Einsenkung, sondern sogar bis zur halben Höhe der sie umgebenden Hänge sind alle Blätter und jungen Triebe durch den Frost vernichtet. — Die Frostgrenze ist so scharf abgegrenzt, daß Blätter, die sich nur um wenige Zentimeter höher befanden, vom Frost unberührt blieben.

Es sieht wirklich so aus, als ob etwas Vernichtendes an den Pflanzen in die Höhe gekrochen und sie, soweit es reichen konnte, getötet hätte.

Das Entstehen des Frostes in den Frostlöchern läßt sich sehr einfach erklären. Erste Bedingung ist eine sonnige Lage, in der die Temperatur, besonders am Nachmittage, hoch steigen kann. Schutz gegen Winde und Luftzug muß auch vorhanden sein, damit die Erneuerung der Luft in den Löchern möglichst erschwert ist. — Mit dem Steigen der Temperatur sinkt nun die relative Luftfeuchtigkeit, da der Wasserdampf, der spezifisch viel leichter ist als die Luft, in die Höhe steigt, und von ihm hierdurch vielmehr weggeführt wird, als durch Verdunstung entsteht. — Sobald nun die Sonne untergegangen ist, hört die Wärmezufuhr natürlich auf, der Erdboden konnte sich auch nicht erheblich erwärmen, weil die Sonnenwärme durch die Verdampfung der Bodenfeuchtigkeit zum größten Teile gebunden wurde, und auf einer solchen Fläche, auf der es eben noch drückend heiß war, herrscht plötzlich eisige Kälte. — Gras, Blätter, Zweige, besonders aber schwarzer Boden, wie der Moorboden, strahlen die Wärme stark aus, und gleichzeitig wird durch den bei der niedrigen relativen Feuchtigkeit herrschenden geringen Dampfdruck die Verdunstung sehr beschleunigt. Die Wärmebindung durch Verdunstung ist sehr bedeutend; denn während nur 100 Wärmeeinheiten notwendig sind, um ein Kilogramm Wasser von 0° zum Sieden zu bringen, sind 607 erforderlich und verschwinden scheinbar, wenn ein Kilogramm Wasser von 0° in Dampf von 0° Wärme verwandelt werden, also verdunsten soll.

In besonders kritischen Fällen, wenn die Nächte so kühl sind, daß eine Temperaturerniedrigung um 1—2° schon zur Frostbildung genügt, friert es auch in solchen Lagen, die trockenen Boden haben, aber sonst die Bedingungen der Frostlöcher erfüllen. — Wir finden sie sehr häufig auf unseren Kulturen, wenn aus irgendeinem Grunde Fehlstellen jahrelang nicht in Bestand zu bringen sind; in geräumten Naturverjüngungen sind sie sogar sehr verbreitet.

47. Wenn man erst die Ursache eines Übels kennt, ist es oft leicht möglich, es zu vermeiden. In vielen Fällen würde eine Entwässerung der Frostlöcher ausreichen, um sie zu beseitigen oder doch wenigstens sehr einzuschränken. Aus sehr vielen Gründen soll man es sich aber reiflich überlegen, ob man eine

Entwässerung im Walde ausführen darf. Scheinbare und vorübergehende Erfolge erreicht man ja mit ihr bald, die nachteiligen Folgen stellen sich später aber oft um so sicherer ein.

Wir kommen auf dies Thema noch ausführlich zurück und wollen uns zunächst weiter mit der Frostgefahr beschäftigen.

Wir ersehen aus der Tabelle auf Seite 99, daß die relative Feuchtigkeit im Walde 1,3 m über dem Erdboden stets höher ist als unter den Baumkronen, und dementsprechend ist dort die Frostgefahr auch geringer. Im Vergleich zum Freien stellt sich das Verhältnis noch etwas günstiger als unter den Baumkronen. Ein Schirmbestand schützt also gegen Temperaturerniedrigungen durch Verdunstung. Er verhindert aber ferner auch zu starke Wärmeausstrahlung, und beide sind ja, wie wir wissen, die Ursachen des Frostes in den Frostlagen.

Ein haubares Erlenbruch in einer Buchenverjüngung wird man, um die Frostgefahr für den Buchenjungwuchs zu beseitigen, nicht etwa vor dem Abtriebe der Erlen trocken legen, sondern man wird es abtreiben müssen, solange der Buchenaufschlag noch durch den dichten Schirm des Mutterbestandes geschützt ist. Lücken in den Kulturen sollte man ohne Rücksicht auf entstehende Kosten in Bestand zu bringen versuchen; denn die Frostgefahr wächst wie die Kultur, in der die Lücken sind.

In Naturverjüngungen läßt man lieber über dem noch niedrigen Aufschlag einen Schirmbestand stehen und nimmt die hierdurch entstehenden Unannehmlichkeiten in Kauf. Lücken pflanzt man, wenn dies der Boden erlaubt, mit so hohen Heistern aus, daß deren Kronen über die durch Frost gefährdete Luftschicht kommen; denn die abnorme Frostbildung findet nur bis zu einer gewissen Höhe über dem Boden statt.

Löcherhiebe sind oft ein geradezu ideales Mittel, um die Frostgefahr zu erhöhen, wie sie und die Kulissenschläge die geeignetsten Maßregeln sind, um für unsere Waldbäume die unnatürlichsten Lebensbedingungen zu schaffen.

Wie in der vorhin beschriebenen Kessellage, so können auch auf Löchern und kahlen Bestandsstreifen die Temperaturen unter dem Nullpunkt sinken, während es allgemein sonst nicht friert; die Bedingungen sind hierfür jedenfalls günstig.

48. Wir kommen jetzt auf eine Wirkung der Wärme als Bewegungsenergie zu sprechen, die von so großer Bedeutung für

das Pflanzenleben ist, daß ohne sie ein solches gar nicht möglich wäre, nämlich auf die Osmose und die Diffusion der Gase.

Wie aus einer Flüssigkeit Dämpfe entstehen, haben wir uns bereits klar gemacht, und für unsere Betrachtungen wird es hier ausreichen, wenn wir annehmen, daß Gase Dämpfe sind, die sehr weit von ihrem Sättigungspunkt entfernt sind.

Flüssigkeiten und Gase unterscheiden sich nach der mechanischen Wärmetheorie dadurch, daß bei Flüssigkeiten die durch die Wärme erzeugten Schwingungen der Moleküle nur so groß sind, daß zwischen diesen noch ein geringer Grad von gegenseitiger Anziehung besteht, während die Gasmoleküle durch die Wärme so stark in Schwingungen versetzt sind, daß sie, von allen Fesseln der Kohäsion befreit, im freien Raum geradlinig davonfliegen (S. 89).

Wir wissen, daß die Luft, die wir einatmen, aus verschiedenen Gasen besteht, deren wesentlichste Sauerstoff (ca. 21 %), Stickstoff (ca. 79 %) und Kohlendioxyd (ca. 0,04 %), das fälschlich Kohlensäure genannt wird, sind.

Die Atomgewichte der Gase sind gleich deren spezifischen Gewichten, und da die meisten Gasmoleküle zweiatomig sind, so kann man statt der spezifischen Gewichte der Gase auch ihre Molekulargewichte vergleichen. Diese betragen abgerundet für Stickstoff = 28, Sauerstoff = 32 und für Kohlendioxyd = 44.

Ordneten sich nun in ruhiger Luft diese Gase nach ihren sehr erheblich verschiedenen spezifischen Gewichten, dann wäre ein organisches Leben auf der Erde unmöglich; denn wir wissen ja, daß schon eine verhältnismäßig geringe Zunahme des Kohlendioxydes in der Luft gesundheitsschädlich ist. — Trotz der großen Gewichtsverschiedenheiten sind Sauerstoff, Stickstoff usw. auf der ganzen Erde und in allen Höhen in der Atmosphäre fast gleich verteilt.

Diese Erscheinung rührt daher, daß alle Gase die Neigung haben, einen möglichst großen Raum einzunehmen, sie sind expansiv, und die Energie für das Bestreben, möglichst weit geradlinig wegzufliegen, zu expandieren, liefert die Wärme.

Treffen die Gase im begrenzten Raume auf dessen Wände, so üben sie auf diese einen Druck aus, den sog. Gasdruck, der in geradem Verhältnis zu ihrem spezifischen Gewicht steht.

Ähnlich wie Gase verhalten sich die Flüssigkeiten. Bringt man von zwei Flüssigkeiten, die mischbar sind und chemisch aufeinander nicht reagieren, die leichtere, z. B. Weingeist, vorsichtig

auf eine schwerere, wie Wasser, so haben auch die Moleküle beider das Bestreben, den ihnen zur Verfügung stehenden Raum möglichst ganz zu erfüllen, sie diffundieren ebenfalls. Trennt man beide Flüssigkeiten durch eine poröse Wand, dann findet der Austausch auch durch diese statt, und diesen Vorgang nennt man Osmose. — In beiden Fällen haben Wasser und Weingeist ein homogenes Gemenge gebildet, das durch mechanische Mittel nicht mehr trennbar ist. — Auch feste Körper können mit Flüssigkeiten solche Gemenge bilden, sich so auflösen, daß sie mit der Flüssigkeit ein gleichartiges flüssiges Ganze bilden, und solch Gemische nennt man Lösungen.

Befestigt man in dem Hals einer Flasche, deren Boden abgesprengt ist, mittelst eines durchbohrten Korkes eine lange Glasröhre, ersetzt den fehlenden Boden durch eine Schweinsblase, füllt die Flasche mit Weingeist und taucht sie in ein weiteres, Wasser enthaltendes Gefäß, so bemerkt man, daß der Weingeist in der Röhre bis zu einer Höhe von 30—40 cm steigt. Es ist also entgegen dem Gesetz der Schwere mehr Wasser durch die Blase zu dem Weingeist getreten als umgekehrt. — Ersetzt man die Schweinsblase durch eine dünne Kautschukhaut, so wandert mehr Weingeist zum Wasser als umgekehrt. Beide Flüssigkeiten haben also das Bestreben zu diffundieren; die verschiedenen Scheidewände oder Membranen sind aber für verschiedene Flüssigkeiten nicht gleich durchlässig oder permeabel.

Membranen, die nur eine der beiden Flüssigkeiten durchlassen, nennt man halbdurchlässig, semipermeabel. — Bringt man in einen Tonzylinder, der mit einer semipermeablen Membran von Ferrocyankupfer ausgekleidet ist, die für Wasser permeabel, für Zucker aber impermeabel ist, eine Zuckerlösung und taucht diesen Zylinder in Wasser, so haben beide Flüssigkeiten das Bestreben zu diffundieren. Da der Zucker aber nicht zum Wasser kann, so dringt nur Wasser in die Zuckerlösung, und die Flüssigkeit steigt hier je nach der Konzentration und Temperatur der Lösung bis zu einer bestimmten, oft recht beträchtlichen Höhe, bis ein Gleichgewichtszustand eingetreten ist.

Es ist einleuchtend, daß die über dem Niveau des Wassers befindliche Flüssigkeitssäule auf die Membran einen ihrer Höhe entsprechenden Druck ausüben muß, und diesen Druck nennt man osmotischen Druck. — Eine einprozentige Zuckerlösung von 0° Wärme hält einer Wassersäule von 6,7 m Höhe, eine einprozentige

Salpeterlösung einer solchen von sogar 31 m das Gleichgewicht. Die wasseranziehende Kraft gewisser Stoffe beruht also auf dem osmotischen Druck, und wie der Gasdruck eine Wirkung der Wucht der durch die Wärme bewegten Gasmoleküle ist, so beruht der osmotische Druck auf den Stößen der im Wasser gelösten Moleküle und Ionen auf die Wand der Gefäße.

Wir haben bereits früher (S. 58) dargelegt, daß gewisse chemische Verbindungen dissoziieren, d. h. daß sich ihre Moleküle bei der Lösung in ihre Atome spalten, ohne daß sie dadurch zunächst chemisch reagieren. Jedes solcher Ionen verhält sich hinsichtlich seines Expansivbestrebens aber wie ein Molekül, und da die Größe des osmotischen sowie des Gasdruckes von der Anzahl der stoßenden Moleküle oder Ionen, die in einem bestimmten Raume enthalten sind, abhängig ist, so müssen bei gleicher Konzentration dissoziierende Lösungen einen viel größeren osmotischen Druck ausüben wie nicht dissoziierende. Daß dies auch wirklich der Fall ist, haben wir eben beim Vergleich der Steighöhen der einprozentigen Zucker- und Salpeterlösung gesehen.

Es folgt aus dem eben Gesagten ferner, daß durch Vermehrung der Moleküle infolge Konzentration der Lösungen die osmotischen Drucke im Verhältnis der Konzentration steigen müssen; dagegen bewirkt eine Temperaturerhöhung, trotzdem die Wärme die Energiequelle ist, nur eine geringe Drucksteigerung, die für Gase und Flüssigkeiten gemeinsam bei jeder Erhöhung um 1^{0} C $^{1}/_{273}$ beträgt.

49. Nach diesen rein physikalischen Erörterungen wollen wir versuchen zu erfahren, welche Bedeutung Osmose und Diffusion der Gase im Pflanzenleben haben.

Sät man irgendwelche Sämereien, Getreide, Fichten-, Kiefern- oder sonstige Samen in den Erdboden, so findet man nach einiger Zeit, daß die Körner gequollen sind, selbst auf Boden, der, wie auf Kiefernschlagflächen, oft ziemlich trocken ist. — Wir unterlassen es, auf die Ursachen der Quellung hier näher einzugehen und wollen uns zunächst mit dem beschäftigen, was schließlich aus dem gequollenen Samenkorn geworden ist, dem Keimling. Er besteht aus einem kleinen Pflänzchen, das meistens ein oder zwei, manchmal auch noch mehr Blätter besitzt, die Kotyledonen, alle anderen Teile aber in noch ziemlich unentwickeltem Zustande aufweist. Nachdem die Wurzel die Samenschale gesprengt

hat, bohrt sie sich in die Erde; später entwickelt sich das Stämmchen und entfaltet über dem Boden seine Blätter. Sobald diese ergrünt sind, ist die Pflanze selbständig, sie kann alle Nährstoffe aufnehmen und assimilieren. Wir wissen, daß die Nährstoffaufnahme durch die Wurzeln stattfindet, und wollen uns mit ihr etwas eingehender beschäftigen.

Bekanntlich bestehen die Pflanzen aus Zellen. Die Gestalt der Zelle wird bedingt durch die Zellwand, deren Hauptbestandteil Zellulose ist. In dieser Zellwand — an sie von innen ringsum angepreßt, und demnach einen geschlossenen Schlauch bildend — befindet sich ein weicher zähflüssiger Körper, das Protoplasma. Dies ist die eigentliche lebende Substanz in der Pflanze; denn nur in den Teilen, in denen es enthalten ist, treten die Veränderungen auf, die man als Äußerungen des Lebens betrachtet. — Den vom Protoplasma umschlossenen Raum nimmt der Zellsaft ein, der der Hauptsache nach gewöhnlich aus Wasser besteht. — Da in einer Zelle, und zwar im Protoplasma, Aufbau und Abbau, Reduktion und Oxydation stattfinden können, muß das Protoplasma einen Organismus haben.

Die aus Zellulose bestehende Zellwand ist starr und für feste Körper undurchlässig; die Pflanzen sind deshalb auf flüssige Nahrung angewiesen, d. h. auf Lösungen. — Von diesen wissen wir, daß sie osmotische Wirkungen ausüben können, und wir gehen nicht fehl, wenn wir annehmen, daß die Osmose die Kraft ist, die die Pflanze befähigt, Wasser und Nährstoffe aus dem Boden aufzunehmen. Damit die Wurzeln dies in dem oft verhältnismäßig trockenem Boden können, sind sie weit verzweigt; es bilden sich besondere Saugwurzeln aus, an deren Spitzen täglich Wurzelhaare neu entstehen, die mit dem Boden verwachsen und durch Osmose saugend auf die den Bodenteilchen adhärierenden dünnen Wasserschichten wirken. Die hierdurch entstehenden Gleichgewichtsstörungen im Wassergehalt des Bodens rufen Strömungen nach der saugenden Wurzel hervor, und auf diese Weise ist die Pflanze befähigt, auch Wasser und in ihm gelöste Nährstoffe aus Bodenschichten zu entnehmen, in die ihre Wurzeln gar nicht eingedrungen sind. — Bei Pflanzen, deren Wurzeln keine Haare haben, übernimmt die Oberhaut der Saugwurzeln die Rolle der Wurzelhaare, oder es tun dies Pilze, deren Fäden eine dicht verflochtene Hülle um die Wurzeln bilden. — Wir kommen auf dieses ektrotrophe, Mykorhiza genannte Zusammenleben höherer Pflanzen und Pilze später noch zurück.

Damit aus der Pflanze nicht Lösungen in den Boden diffundieren, ist das Protoplasma, dem osmotische Eigenschaften zugeschrieben werden müssen, semipermeabel, während die Zellwand für Lösungen permeabel ist, wenn deren Moleküle bestimmte Größen nicht überschreiten. — Die Beschaffenheit der Wurzelorgane und deren Ausbreitung im Boden wird also von wesentlichem Einfluß auf die Fähigkeit der Pflanzen sein, Wasser aus dem Boden aufzunehmen.

Wie verschieden diese Ausnutzungsfähigkeit sein kann, hat Nobbe (1875 n. Jost S. 34) für einjährige Kiefern, Fichten und Tannen festgestellt, indem er die Länge aller Wurzeln maß. Sie betrugen:

bei einjährigen Tannen rund 1 m
„ „ Fichten „ 2 „
„ „ Kiefern „ 12 „

Hieraus folgt, daß die Kiefer nicht deshalb auf trocknerem Boden noch gedeihen kann, weil sie besonders geringe Ansprüche an dessen Wassergehalt macht, sondern weil sie eine ganz besondere Fähigkeit besitzt, das im Boden vorhandene Wasser auszunützen.

Oberirdische Pflanzenteile können zwar auch Wasser aufnehmen, unsere Waldbäume aber nur in praktisch unbedeutenden Mengen, da ihre Cuticula nicht quellbar ist; dagegen geschieht bei Moosen und Flechten die Wasseraufnahme durch deren Membranen, die auch im lufttrockenen Zustande benetzbar sind, und die durch diese den Regen aufspeichernde Eigenschaft eine so wichtige Rolle im Haushalte der Natur spielen.

Wenn die Wurzeln aus dem Boden Wasser aufsaugen, so müssen die Wurzelhaare, durch die sie es tun, zunächst wasserreicher werden als die eigentlichen Wurzeln. Letztere wirken durch die Konzentration ihrer Säfte wieder saugend auf die Nachbarzellen, und so pflanzt sich die osmotische Wirkung von Zelle zu Zelle fort bis zu den Stellen, an denen Wasserverbrauch stattfindet.

Die osmotischen Drucke in den einzelnen Zellen sind sehr hoch; unter drei Atmosphären scheinen sie nicht zu sinken, sie steigen sogar auf 12—20, und 5—10 Atmosphären sind ganz gewöhnlich. — Da der Druck einer Atmosphäre einer Wassersäule von etwas über 10 m das Gleichgewicht hält, so würde ein osmotischer Druck von fünf Atmosphären in den Wurzeln allein

ausreichend sein, um das Wasser bis in die Spitzen der höchsten Bäume zu treiben, wenn die Leitung des Wassers durch die Osmose von Zelle zu Zelle schnell genug vor sich ginge. Dies ist aber nicht der Fall, und deshalb haben die Bäume Gefäße, die in den Wurzeln anfangen, Stamm und Äste ausfüllen, sich in Strängen in die Blattstiele fortsetzen und sich dort auflösen, um sich in den Blättern auszubreiten. Durch diese Gefäße findet der Hauptsache nach die Wasserleitung statt, und zwar ist es bei Bäumen der Holzkörper, der sie vermittelt. Am besten wird wahrscheinlich der jüngste Jahresring leiten und von ihm aus wird die Leitungsfähigkeit nach innen zu abnehmen. Das durch sog. Thyllen verstopfte Kernholz kann nicht leiten, wird aber als Wasserspeicher dienen.

50. Den Vorgang der Wasserbewegung im Baume können wir uns folgendermaßen vorstellen: Die Wurzeln saugen Wasser und Nährsalzlösungen aus dem Boden auf. Der osmotische Druck der Salze ist, weil sie dissoziieren, sehr hoch, und durch den Wurzeldruck wird das Wasser mit den in ihm gelösten Stoffen durch den Holzkörper nach oben getrieben. Gleichzeitig wirkt der Zucker, der während der Vegetationszeit durch Kohlensäureassimilation entsteht, saugend von obenher. — Die Druckunterschiede würden sich aber schließlich einmal ausgleichen und die Wasserbewegung müßte damit zum Stillstand kommen, wenn nicht der größte Teil des Wassers in den Blättern, Blattstielen und anderen Organen verdunstete. Dieser Vorgang, den man Transpiration nennt, ist die eigentliche Ursache für die Bewegung des Wassers in der Pflanze, und wenn die verdunstenden Organe lückenlos mit einer starken Cuticula bedeckt wären, so daß keine Transpiration stattfinden könnte, so wäre auch eine Nährstoffzufuhr nach den Baumkronen und somit ein Wachstum unmöglich, während andererseits bei zu starker Transpiration schwere Nachteile für die Pflanze entstehen können, wie wir bei der Lärche gesehen haben. Aus diesen Gründen besitzen die Pflanzen Einrichtungen, die es ihnen ermöglichen, die Transpiration zu regulieren, die sog. Spaltöffnungen. Es sind dies die Ausgänge der großen Interzellularräume, die mit lippenförmigen Schließzellen versehen sind. Wenn sie geöffnet sind, entweicht der in den Interzellularen entstehende Wasserdampf ungehindert. Erreicht aber bei sehr starker Belichtung und Wärmestrahlung

die Transpiration eine Höhe, die der Pflanze schädlich werden könnte, dann schließen sich die Schließzellen rechtzeitig. Um dies zu können, sind sie mit Blattgrün ausgestattet und erzeugen durch Assimilation Zucker, dessen osmotische Wirkung aus den benachbarten Zellen Wasser anzieht und hierdurch die Zellmembranen nach der Öffnung der Spalten hin einseitig ausdehnt und verschließt.

Bei der Assimilation der Kohlensäure wird, wie wir wissen, in erheblicher Menge Zucker erzeugt, dessen osmotischer Druck schließlich eine Höhe erreichen müßte, der das Wachstum der Pflanzen schädigen oder doch wenigstens hemmen könnte, wenn die Pflanzen nicht die Fähigkeit hätten, diese Drucke aufzuheben oder zu verkleinern. Dies erreichen sie dadurch, daß sie die Stoffe mit kleinen Molekülen, wie den Zucker, in solche mit großen, wie Stärke, Zellulose u. a. m., umformen, die wegen der Größe ihrer Moleküle keine osmotische Wirkung mehr ausüben können. Diese Stoffe, von denen man die Stärke in vielen Blättern schon ganz kurze Zeit nach begonnener Belichtung nachweisen kann, werden dann, besonders in der Nacht, wieder gelöst und wandern durch die Rinde nach den Stellen, an denen sie als Baustoffe verwendet oder als Reservestoffe aufgespeichert werden sollen. Dort können sie in verschiedene Verbindungen verwandelt werden, wie Fette, Öle usw. — Es würde zu weit führen, auf diese Vorgänge näher einzugehen; es soll nur daran erinnert werden, daß zu allen diesen Arbeiten ein Energieaufwand erforderlich ist, der um so größer sein muß, je ärmer an Sauerstoff das Produkt ist, das aus dem ursprünglichen Assimilat entsteht.

51. Energiequelle für die grünen Pflanzen ist, wie wir wissen, das Licht, das die Kohlensäure reduziert, also aus der letzten Oxydationsstufe des Kohlenstoffes sauerstoffärmere Verbindungen schafft. Sollen noch weitere Reduktionen stattfinden, wie sie zur Bildung von Fetten, Ölen, Kork usw. erforderlich sind, so muß die Pflanze die hierzu nötige Energie aus ihren Reservestoffen entnehmen, sie muß diese wieder oxydieren, sie muß atmen.

Wie im tierischen Organismus, so wird auch in der Pflanze durch Atmung Energie frei, und es entsteht durch Oxydation des Kohlenstoffes Wärme. Da die Wärme eine Energieform ist, so muß auch der Energiegehalt der Pflanze steigen, wenn sie aus

ihrer Umgebung Wärme aufnimmt. Trotzdem ist die bei der Atmung der Pflanze entstehende Wärme, und darin besteht ein wesentlicher Unterschied zwischen ihr und dem tierischen Organismus, nicht Endzweck, sondern sie kann nur ein Nebenprodukt sein; sie muß geradezu als ein Verlust an verwendbarer Energie bezeichnet werden. Zweck der Atmung ist die Erzeugung anderer Energieformen als der Wärme.

Über diese wesentlichen Unterschiede zwischen Pflanzen- und Tieratmung scheinen sich viele Forstleute noch gar nicht klar geworden zu sein. - Wie häufig liest man nicht in Abhandlungen über Durchforstungen und Schlagstellungen, diese müßten so ausgeführt werden, „daß Licht und Luft“ auf den Boden kommt. Dies ist eine von den vielen gedankenlosen Redensarten, durch die sich unsere Literatur so wenig vorteilhaft auszeichnet. — Man schickt doch Kranke in den Wald, damit ihnen dessen Luft Heilung bringe, und diese Luft, die für warmblütige Wesen ausreichend Sauerstoff enthält, soll für Pflanzen nicht genügen, die bei ihrer Assimilation ganze Ströme Sauerstoff durch ihre Spaltöffnungen entsenden?

52. Stoffe, deren Inhalt an chemischer Energie durch starke Oxydation ziemlich verbraucht ist, können noch eine erhebliche osmotische Energie liefern.

Ein Beispiel hierfür ist die Oxalsäure. Sie ist eine dissoziierende Verbindung, und ihre osmotische Kraft ist dreimal so groß als die des Zuckers. In den Pflanzen ist sie sehr verbreitet. sie ist wahrscheinlich ein wichtiger Bestandteil des Blattgrüns, und es wäre denkbar, daß sie auch zur Umwandlung der Stärke in Zucker nicht unwesentlich beiträgt und durch ihren starken osmotischen Druck die Wanderung des gelösten Zuckers nach den Vegetationsstellen beschleunigt.

Es ist nämlich auffallend, daß die Bäume mit starken Markstrahlen, die bekanntlich Speichergewebe für die Stärke sind, auch einen großen Kalkbedarf haben. — Man kann wohl sagen: Der Kalkbedarf einer Holzart steht in einem bestimmten Verhältnis zur Breite ihrer Markstrahlen. — Immergrüne Holzarten sind nicht kalkliebend, weil sie weniger Reservestoffe aufspeichern brauchen als diejenigen, die in jedem Frühjahre erst frische Blätter bilden müssen, ehe sie zu assimilieren anfangen können. — Pinus pinaster kommt sogar auf keinem Boden mehr

fort, der mehr als 3% Kalk enthält. (Jost S. 120.) Den stärksten Kalkbedarf und dementsprechende Markstrahlen hat der Weinstock, und die Asche der Rinde einer 150jährigen Eiche bestand (nach Wolff — bei Jost S. 98) zu 92,8% aus CaO. —

Es ist nachgewiesen, daß Kalzium zum Aufbau des Protoplasmas nicht nötig ist, es fehlt immer an den Vegetationspunkten; dagegen tritt es in großer Menge in älteren Organen, vor allen Dingen Blättern auf, und die Kristalle aus oxalsaurem Kalk sind ja jedem, der mit dem Mikroskop arbeitet, bekannt genug.

Schimper (nach Jost S. 104) hat experimentell gezeigt, daß bei Ca-freien Kulturen Giftwirkungen durch Oxalsäure eintreten, die beim Mangel an Kalk nicht neutralisiert werden kann, und ist geneigt, allgemein die Funktion des Kalziums in der Neutralisation dieser Säure zu erblicken.

Diese Ansicht hat viel für sich und würde uns die Bedeutung des Kalkes in der Pflanze erklären. — Auf den Wert des Kalkes für den Boden kommen wir noch später zu sprechen. —

Die Bedeutung der Osmose für das Pflanzenleben beschränkt sich aber nicht nur auf die Wasserbewegung, viele saftige Pflanzen und Pflanzenteile erhalten durch die von der Osmose herbeigeführte Gewebespannung, den sog. Turgordruck, erst ihre Festigkeit. — Die Drucke, die hier ausgeübt werden, sind ungeheuer groß, sie steigen in Gramineen bis 40 Atmosphären.

53. Außer durch die Osmose wird die Wasserleitung von der Wurzel bis zur Krone noch durch die sog. kapillare Attraktion unterstützt.

Trotz der leichten Verschiebbarkeit der Teilchen einer Flüssigkeit ist zwischen ihnen doch noch eine molekulare Anziehungskraft, die Kohäsion, tätig. Soweit diese Anziehungskraft, die mit der Entfernung der Teilchen voneinander rasch abnimmt, reicht, verursacht sie einen zur Oberfläche senkrechten, nach einwärts gerichteten Druck, den Kohäsionsdruck. Dieser bewirkt, daß die Flüssigkeitsmasse die Form annimmt, bei der die Oberfläche so klein wie möglich ist. Deshalb nehmen auch Tropfen eine der Kugel ähnliche Gestalt an.

Aber nicht nur zwischen den Teilchen einer Flüssigkeit untereinander, sondern auch zwischen Flüssigkeiten und festen Körpern findet eine molekulare Anziehung statt, die man Adhäsion nennt.

Sie verursacht es, daß beispielsweise das Wasser in einem Glase am Rande höher steht, „einen Randwinkel" bildet.

Adhäsion und Kohäsionsdruck bewirken nun das Steigen von Flüssigkeiten in engen Röhren oder Hohlräumen. Ist nämlich die Oberfläche einer Flüssigkeit nach außen hin konvex, so ist der Kohäsionsdruck auf sie größer als auf eine ebene Fläche, die Flüssigkeit muß also in engen Röhren sinken, wie dies bei Quecksilber der Fall ist, das an Glas nicht adhäriert; ist aber die Flüssigkeitsoberfläche nach außen hin konkav, so muß die Flüssigkeit so lange steigen, bis der Druck der gehobenen Flüssigkeitssäule der negativen Druckdifferenz der Oberflächenspannung das Gleichgewicht hält.

Da der negative Druck mit der Krümmung der Oberfläche wächst, diese Krümmung aber um so stärker ausfällt, je enger die Röhre ist, so muß auch die Hebung der Flüssigkeit um so größer sein, je kleiner der Durchmesser des Röhrchens ist.

Die kapillare Kraft der engen Gefäße des Holzes unserer Bäume ist sehr groß. Nägeli (Das Mikroskop, S. 367—369) hat festgestellt, daß frisch geschnittene Tannenholzstücke einer Wassersäule von 30,75 Metern das Gleichgewicht hielten. Die durch die Kapillarität verursachte Wasserbewegung im Baume würde aber nicht ausreichen, um ihn vor dem Vertrocknen zu schützen; Kapillarität und Osmose müssen sich bei der Wasserleitung im Baume unterstützen, und sie allein werden auch noch nicht hinreichen, um den Wasserbedarf stark transportierender Bäume zu decken; es werden, wie man annimmt, immer noch lebende Zellen in Tätigkeit treten müssen.

54. Ehe wir auf die Verhältnisse eingehen, die den Grad der Transpiration bei den Pflanzen beeinflussen, wollen wir noch kurz die Mittel erwähnen, die die Pflanzen haben, um sich gegen die Nachteile zu starker Transpiration zu schützen. — Erwähnt wurde bereits die Tätigkeit der Schließzellen und Spaltöffnungen. Eine Verringerung der Zahl der Spaltöffnungen oder eine zweckmäßige Änderung ihres anatomischen Baues wird eine Einschränkung der Transpiration herbeiführen. — Über den Schutz einer starken Cuticula ist schon gesprochen worden. Er fehlt der Lärche und anderen Holzarten. Verstärkt wird die Wirkung der starken Cuticula, wenn auf ihr und in ihr Wachs abgelagert, sie also noch wasserdichter gemacht worden ist, wie bei Betula

verrucosa und anderen. Mit Luft gefüllte Haare, wie sie bei den jungen Blättern und Zweigen der Buche und bei anderen Holzarten vorhanden sind, schaffen einen windstillen Raum an der Oberfläche und wirken so schützend. Ferner suchen viele Pflanzen durch Änderung der Blattstellung, Verkleinerung der Blattoberfläche usw. zu starker Transpiration zu entgehen.

Verhältnisse, die die Verdunstung des Wassers allgemein befördern, steigern natürlich auch die Transpiration. — Wir haben sie schon kennen gelernt, es sind niedrige relative Feuchtigkeit der Luft und Erhöhung der Temperatur, und zwar sowohl der Luft wie der Pflanze selbst, wie sie durch Absorption von Licht und Wärme herbeigeführt werden. — Bewegungen der Pflanzen und der Luft um sie, die statt der durch die Verdunstung entstandenen Dampfhülle trockene Luft zuführen, wirken natürlich transpirationsfördernd.

Bei trocknem Boden ist die Wasseraufnahme durch die Pflanze erschwert, die Säfte der Pflanzen sind deshalb konzentrierter und halten durch Osmose das Wasser fester; ähnlich wirken auch konzentriertere Salzlösungen, wenn sie von den Pflanzen aufgenommen werden. Bekannt, aber noch nicht aufgeklärt ist es, daß verdünnte alkalische Lösungen die Transpiration steigern, verdünnte Säuren sie verlangsamen.

Wenn wir uns nun vergegenwärtigen, daß die Bedeutung der Transpiration für die Pflanze darin besteht, daß die durch die Wurzeln in sehr verdünnten Lösungen aufgenommenen Nährsalze durch Wasserverdampfung die erforderliche Konzentration erhalten und daß bei dieser Verdampfung eine so starke Wärmebindung stattfindet, daß Schädigungen durch die Hitze vermieden werden, so kommen wir zur Erkenntnis, daß sie für das Leben unserer Waldbäume unentbehrlich sein muß. — Wir werden aber wohl nur selten in die Lage kommen, im Walde irgend etwas tun zu müssen, um eine Steigerung der Transpiration herbeizuführen. Allenfalls könnte man die Entwässerung saurer Brücher als solche Maßregel betrachten; denn es ist nicht unwahrscheinlich, daß das schlechte Wachstum der Erlen auf ihnen auf mangelhafte Transpiration zurückzuführen ist.

Im allgemeinen wird es unser Bestreben sein müssen, zu starker Transpiration im Walde entgegenzuwirken. Die Bodenfeuchtigkeit ist eines unserer wertvollsten Kapitalien im Walde; denn die Wachstumsgeschwindigkeit und auch die endliche Größe eines

jeden Organes der Pflanze hängt von seinem Wassergehalt ab, und dieser wird durch das Verhältnis von der Aufnahme aus dem Boden zur Abgabe an die Luft reguliert. Bodenfrische befähigt, wie schon früher erwähnt wurde, die Pflanze zu starker Lichtabsorption, besonders aus dem Gebiete der langwelligsten Strahlen, und sie ist geeignet, einen Teil der mineralischen Nährstoffe zu ersetzen, wie durch Vergleiche der Absorptionsspektren leicht zu beweisen ist. Wer aber nicht genug Luft und Licht in seinen Wald bekommen kann, der darf sich nicht wundern, wenn in diesem die Bodenfrische immer geringer wird.

55. Wir haben vorhin von der Kapillarattraktion als einer Kraft gesprochen, die das Wassersteigen im Baume befördert. Damit ist aber die Bedeutung dieses Vorganges noch nicht erschöpft; denn nicht minder wichtig ist es, daß durch die Kapillarität das Wasser an dem vollständigen Versinken in die Tiefe des Erdbodens verhindert wird. — Je nach der Bodenbeschaffenheit, besonders aber nach der Zahl und Größe der zwischen den Bodenteilchen befindlichen Hohlräume ist die Menge des im Boden kapillar und durch Adhäsion an den Bodenteilchen zurückbleibenden Wassers verschieden.

Man bezieht diese Menge auf die Volumeneinheit des Bodens und nennt sie dessen Wasserkapazität.

Nach Ad. Mayer (bei Jost S. 33) beträgt sie für:

Humusboden	55	Volumenprozente
Tonboden	53	„
Feinen Sandboden	30	„
Groben Sandboden	10	„

Bei Quarzböden beträgt sie nach Wollny (bei Jost S. 33):

bei einer Korngröße von	1—2	mm	3,66	Volumenprozente	
„ „ „ „	0,25—0,50	„	4,38	„	
„ „ „ „	0,11—0,17	„	6,03	„	
„ „ „ „	0,01—0,07	„	35,50	„	

Solche Wassermengen enthält der Boden aber nur unmittelbar nach der Anfeuchtung; er verliert sie teilweise wieder durch Verdunstung.

Der praktische Forstmann wird aus diesen Zahlen zwar ersehen können, daß die wasserhaltende Kraft der einzelnen Bodenarten äußerst verschieden ist; damit allein ist ihm aber auch nicht

gedient, er will Zahlen haben, die ihm angeben, wie hoch die einzelnen Bodenarten das Wasser kapillar heben, damit er einen Maßstab hat, der es ihm ermöglicht, zu beurteilen, ob er zur Anlage von Wiesen im Walde, zur Entwässerung von Bruchflächen oder zu sonst einem Zwecke Gräben anlegen darf, ohne die benachbarten Standortsverhältnisse zu verschlechtern oder gar vorhandene Bestände zu schädigen.

In den Verhandlungen des Pommerschen Forstvereins im Jahre 1905 (Seite 42) findet sich die Angabe, daß nach Liebenberg, Klenze und Wollny die kapillare Hebungskraft nur zwischen höchstens 0,30 m für grobkörnige Bodenarten und bis 1,0 m für Tonboden schwankt. Es wird aus diesen Angaben der Schluß gezogen, daß eine durch Grabenziehung hervorgerufene Senkung des Grundwasserspiegels auf schweren Ton- und Lehmböden um 1,0 m noch unbedenklich erscheint, während sie auf Sandboden schon zur völligen Austrocknung führen muß. — Diese Annahme wäre richtig, wenn die Pflanzen nur das Wasser aufnehmen könnten, mit dem sie durch ihre Wurzeln direkt in Berührung kommen. Wir haben aber gesehen, daß sich die saugende Wirkung der Wurzeln von der Stelle, an der sie das Wasser aufnehmen, fortpflanzt, daß hierdurch Gleichgewichtsstörungen, sowohl in dem durch Adhäsion als auch kapillar von den Bodenteilchen festgehaltenen dünnen Wasserschichten entstehen, die Strömungen nach den saugenden Wurzeln hervorrufen.

Man wird deshalb annehmen müssen, daß nicht die kapillare Steighöhe des Grundwassers allein maßgebend für den Wasserbezug der Pflanzen ist, sondern daß letztere auch noch dann von dem Grundwasser aufnehmen, wenn dessen Steighöhe weit unter der tiefsten von den Pflanzenwurzeln erreichten Schicht liegt. — Solange wir also nicht auch hierüber ganz genaue und zuverlässige Zahlen besitzen, kann nicht eindringlich genug davor gewarnt werden, im Walde Entwässerungen vorzunehmen, durch die oft nur kleine Werte geschaffen werden sollen, während große durch sie verloren gehen.

Bemerkenswert ist die große Wasserkapazität des Humusbodens, die sich, wir wir wissen, aus seiner Struktur erklärt. Beimengungen von Humus werden also die wasserhaltende Kraft des Bodens erhöhen.

Daß Lockerungen die Kapillarität des Bodens verringern, ist selbstverständlich. Sie schaffen auf einer dicht gelagerten und

deshalb kapillar wirksameren Schicht eine solche mit großen Zwischenräumen. Hierdurch wird das Bodenwasser vor Verdunstung geschützt. — Andrerseits wird, wie Ramann (Zeitschrift für Forst- und Jagdwesen, Bd. 38, 1906 „Wassergehalt diluvialer Waldböden") festgestellt hat, durch jede Bodenbearbeitung auf Sandboden der Wassergehalt ganz erheblich gesteigert. In Pflugfurchen und Pflanzlöchern ist diese Einwirkung annähernd gleich, in rigolten Böden viel höher; sie hört aber auf, sobald keine unzersetzten Humusteilchen in tieferen Bodenschichten mehr vorhanden sind und der Boden seine alte Lagerung wieder eingenommen hat. In einem Falle war sie nach vier Jahren wieder verloren gegangen. Man wird also da, wo es wie bei Nadelholzsaaten darauf ankommt, daß das Bodenwasser bis zur Oberfläche steigt, alle Bodenlockerungen im Herbst vornehmen, damit sich der Boden wieder dichter lagern kann; man wird aber auch allgemein die Bodenbearbeitung auf Sandboden sorgfältig auszuführen haben, um dessen wasserhaltende Kraft zu vermehren.

56. Eine Eigentümlichkeit der Lösungen ist ihre Gefrierpunkterniedrigung. Flüssigkeiten, in denen eine andere Substanz aufgelöst ist, gefrieren schwerer, und zwar im Verhältnis der in ihnen gelösten Stoffmengen. — Junge Blätter und Triebe, die Zucker von gelösten Reservestoffen oder durch Assimilation enthalten, gefrieren also schwerer als reines Wasser.

Aus demselben Grunde, aus dem der osmotische Druck bei dissoziierenden Lösungen erheblich höher ist als bei indifferenten, liegt auch der Gefrierpunkt bei ersteren viel tiefer. Hieraus erklärt sich die Widerstandsfähigkeit saurer Gräser und vieler Pflanzen, deren Triebe und Blätter reich an Säuren sind, gegen das Erfrieren.

57. Die wichtigsten Gase, aus denen die atmosphärische Luft besteht, sind, wie schon erwähnt, Sauerstoff, Stickstoff und Kohlendioxyd. —

Der Sauerstoff ist zur Atmung für die Pflanzen unentbehrlich, und besonders groß ist der Sauerstoffbedarf des keimenden Samens und der Wurzeln.

Da sich unsere Waldbäume ihren Standorten durch Tausende von Jahren angepaßt haben, so wird man annehmen können, daß sie ihren Sauerstoffbedarf in der Regel auch ohne unser Zutun werden decken können. — Auf einen Ausnahmefall möchte ich

aber hinweisen. — Wir haben bekanntlich Erlenbestände, die im Wasser stehen. Zum Teil gedeihen sie ausgezeichnet, in anderen Fällen ist es nicht möglich, Brücher, die unter Wasser stehen, mit Erlen aufzuforsten. — Dies scheinbar verschiedene Verhalten der Erle hat natürlich die verschiedensten Ansichten herausgefordert. — Die einen schwören darauf, daß die Erle eine Wasserpflanze ist, die anderen entwässern vorher sorgfältig jedes Bruch, ehe sie es mit Erlen bepflanzen. Scheinbar hat dies manchmal Erfolg, oft bleibt er aber auch aus. Woher kommt das? — Das Wasser löst bei 15° C $^1/_{34}$ seines Rauminhaltes Sauerstoff. Während die gewöhnliche Luft nur 21 % Sauerstoff enthält, sind im Wasser bei 15° gewöhnlich 35 % enthalten. — Diese Menge reicht vollständig aus, um das Sauerstoffbedürfnis der Wurzeln zu decken. Die Verhältnisse ändern sich aber, sobald größere Mengen organischer Substanzen, wie Laub und andere Pflanzenreste, sich im Wasser zersetzen und zu dieser Oxydation große Sauerstoffmengen brauchen. Sie können das Wasser so sauerstoffarm machen, daß unsere Erlen in ihm nicht mehr gedeihen können. Dieser Fall wird leicht eintreten bei stehenden Gewässern, die keinen Zu- und Abfluß haben. In diesen hört aber auch nach der Entwässerung der starke Sauerstoffverbrauch erst auf, wenn die organischen Reste auf einer bestimmten Oxydationsstufe angelangt sind; eine Entwässerung wird sich deshalb, wenn sie überhaupt hilft, erst nach kürzerer oder längerer Zeit als wirksam zeigen. — Brücher mit Zu- und Abfluß entwässert man, wenn sie der Erlenzucht wieder dienen sollen, am besten gar nicht; man wird dadurch meist mehr schaden als nützen, denn das zufließende Wasser bewirkt eine genügende Sauerstofferneuerung. Man wird leicht feststellen können, ob die Sauerstoffzufuhr ausreichend ist, wenn man das Wachstum der am Zuflußgraben stehenden Erlen mit dem der von diesem entfernt wachsenden vergleicht. Sind erstere im Vergleich zu letzteren sehr viel besser im Wuchse, dann wird man zur Annahme berechtigt sein, daß die zurückbleibenden Erlen an Sauerstoffmangel leiden. Oft läßt sich durch Verlegen des Zuflußgrabens helfen.

58. Mit der Bedeutung des atmosphärischen Stickstoffes werden wir uns in einem späteren Kapitel noch eingehender beschäftigen; es bleibt uns von den atmosphärischen Gasen nur noch das Kohlendioxyd zu behandeln.

Wir haben uns schon eingehend damit beschäftigt, daß die Pflanzen im grünen Blatt Kohlensäure reduzieren und dadurch organische Substanz erzeugen. Woher stammt diese Kohlensäure? Diese Frage hat nicht nur theoretisches Interesse, sie ist gerade für uns Forstleute von der größten praktischen Bedeutung; denn von ihrer Beantwortung hängt es ab, welche Rolle wir dem Humus im Walde zuweisen müssen.

Es ist ja bekannt genug, daß nicht alle Forstleute auf dem Standpunkte stehen, daß bestimmte nicht zu knapp bemessene Mengen von Humus für das Gedeihen unserer Waldbäume unentbehrlich sind. — Es gibt welche, die ihn für die Ernährung unserer Waldbäume als überflüssig erklären und ihm nur als Hilfsmittel für die Verwitterung und wegen gewisser physikalischer Eigenschaften eine Bedeutung im Walde einräumen. Andere betrachten ihn sogar als etwas dem Walde direkt Feindliches. — Es kann deshalb keine undankbare Aufgabe sein, zur Ehrenrettung des vielverkannten Humus etwas beizutragen. Diesem Zwecke sollen die folgenden Zeilen dienen.

Wenn die zur Assimilation erforderliche Kohlensäure zum größten Teile aus dem Boden und nicht aus der Luft stammt, dann muß sie wie die übrigen Pflanzennährstoffe durch die Wurzeln aufgenommen werden. Sie wäre dann den Nährstoffen zuzurechnen, und als Lieferant könnte nur der Humus in Frage kommen, er wäre eine direkte Nährstoffquelle.

Die jetzt allgemein geltende Ansicht lautet: die Pflanze nimmt die zur Assimilation erforderliche Kohlensäure aus der Luft.

Dem ist zunächst entgegenzuhalten, daß es in der Luft gar keine Kohlensäure gibt, da diese in ihr sofort in Wasser und das Anhydrit der Kohlensäure, das Kohlendioxyd, zerfällt. — Dieses Kohlendioxyd müßte sich aber im Pflanzenblatt erst wieder zu Kohlensäure ergänzen; denn nur als solche kann es dissoziieren, und die elektrolytische Dissoziation ist für die Kohlensäure als anorganische Verbindung eine Vorbedingung ihrer Reaktionsfähigkeit.

Man nimmt an, daß das Kohlendioxyd, wie wir es hier immer mit seinem richtigen Namen nennen wollen, durch die Spaltöffnungen der Blätter — bei Landpflanzen wenigstens, mit denen wir es ja ausschließlich zu tun haben — in deren Interzellularräume dringe. Von diesen aus müßte es dann weiter durch die

Zellwände und das Protoplasma diffundieren, um sich endlich im Zellsaft zu lösen und sich zur Kohlensäure zu ergänzen.

Bei hohen Temperaturen ist aber die Absorptionsfähigkeit des Wassers für Kohlendioxyd gering; denn während ein Teil Wasser von 0° Wärme noch 1,8 Raumteile Kohlendioxyd löst, vermag er bei 15° nur noch 1,0 und bei 20° 0,9 Raumteile zu absorbieren. Wir müssen aber damit rechnen, daß während der Assimilation durch Strahlung und Absorption von Licht und Wärme im Pflanzenblatt sehr erhebliche Temperaturen herrschen. — Wie viel Kohlensäure könnte beispielsweise in manchen Fettpflanzen durch Lösung entstehen, in deren Blättern die Temperaturen bis 50° betragen?

Wir haben ferner gesehen, daß sich die Pflanzen gegen zu starke Transpiration durch Schließen der Spaltöffnungen schützen. Wären sie auf den Bezug von Kohlendioxyd aus der Luft angewiesen, so würde ihnen doch gerade die beste Zeit für die Assimilation verloren gehen. Der starken osmotischen Drucke wegen braucht die Assimilation nicht unterbrochen zu werden, die kann die Pflanze durch Umlagerung der Moleküle leicht unschädlich machen und tut es auch. Daß durch das Schließen der Spaltöffnungen solche Störungen im Kohlendioxydbezuge eintreten müßten, wird übrigens allgemein zugegeben. Es ist aber nicht anzunehmen, daß die Pflanzen gerade bei der wichtigsten Funktion unter regelmäßigen Störungen zu leiden haben.

Um zu beweisen, daß das Kohlendioxyd aus der Luft durch die Spaltöffnungen aufgenommen werde, hat man diese verklebt und festgestellt, daß hierdurch die Assimilation verhindert wird. Das beweist aber doch eigentlich gar nichts, denn durch Verstopfen der Spaltöffnungen verhindert man auch die Transpiration, die unbedingt notwendig ist, wenn die im Bodenwasser gelöste, mit diesem durch die Wurzeln aufgenommene Kohlensäure an die Assimilationsstellen gelangen soll.

Wir wissen ferner, daß, wenn Kohlensäure durch das Licht zu Traubenzucker oder Glykose reduziert werden soll, aus sechs Molekülen Kohlensäure ein Molekül Glykose und sechs zweiatomige Moleküle Sauerstoff entstehen, nach der Formel:

$$6\,H_2CO_3 = C_6H_2O_6 + 12\,O.$$

Diese sechs Sauerstoffmoleküle müssen aber doch, soweit sie nicht zur Atmung oder sonst einer Oxydation verwendet werden, aus dem Blatte hinausgelangen. Ebensowenig wie dieses Ex-

periment beweisen alle die, die mit verstärktem oder vermindertem Kohlendioxyddruck ausgeführt worden sind; denn alle Änderungen im Druck und in den Temperaturen ändern auch die Absorptionsfähigkeit der Flüssigkeiten und die Diffusionsverhältnisse der Gase.

Als besonders beweiskräftig gilt ein Experiment, das darin besteht, daß man durch die Wurzeln von Topfpflanzen einen Kohlendioxydstrom streichen läßt und dadurch ein Welken der Pflanzen herbeiführen kann. — Ist diese Erscheinung aber dann noch wunderbar, wenn man sich daran erinnert, daß Kohlendioxyd ein Anhydrit ist, das zur Bildung seines Hydrates, der Kohlensäure, Wasser aufnehmen muß, und dies natürlich auch aus den Pflanzenwurzeln tut?

Sicher entzieht man auch während des Experimentes den Pflanzenwurzeln den ihnen so unentbehrlichen Sauerstoff.

Viel Kopfzerbrechen machen die engen Spaltöffnungen, um die Diffusion des Kohlendioxydes durch sie erklären zu können. — Schließlich ist man aber sogar zu dem Ergebnis gekommen, daß mit der Abnahme der Öffnung der Spalten die Diffusionsgeschwindigkeiten für Kohlendioxyd zunehmen. — Dies widerspricht aber allen physikalischen Gesetzen; denn für das Ausströmen der Gase gelten dieselben Gesetze wie für die Flüssigkeiten, und es wird doch wohl niemand behaupten wollen, daß Wasser um so schneller aus einem Gefäß ausfließe, je enger der Spalt gemacht wird, durch den der Ausfluß stattfindet. — Wenn also Brown und Escombe (nach Jost S. 147/8) zu diesem irrtümlichen Ergebnisse gekommen sind, so müssen bei ihren Experimenten erhebliche Fehler vorgekommen sein.

(— Nach einem von Graham durch Versuche bewiesenen Gesetze ist die Ausströmungsgeschwindigkeit eines Gases der Quadratwurzel aus dem Überdruck direkt, — der Quadratwurzel aus dem spezifischen Gewichte umgekehrt proportional, oder, was dasselbe heißt, die Quadrate der Ausströmungszeiten gleicher Raumteile verhalten sich wie die spezifischen Gewichte. — Dies Gesetz ist so sicher bewiesen, daß Bunsen nach den Ausströmungsgeschwindigkeiten die spezifischen Gewichte verschiedener Gase berechnen konnte. Cf. Lommel S. 142. —.) Also nur Druck und spezifisches Gewicht sind maßgebend für die Ausströmungsgeschwindigkeit eines Gases, die Form oder die Größe des Querschnittes der Ausströmungsöffnung ist belanglos.

59. Der Druck eines Gases ist, wie wir wissen, eine Folge der Wucht, mit der die Gasmoleküle gegen eine Wand treffen. Seine Größe ist abhängig von der Zahl der Moleküle. Eine gleiche Anzahl von Molekülen verschiedener Gase übt einen gleichen Druck aus. — Da nun die Molekulargewichte von:

Wasserstoff . . . . = 2
Stickstoff . . . . . = 28
Sauerstoff . . . . . = 32
Kohlendioxyd . . . = 44

sind, so müssen, um gleiche Drucke auszuüben, beispielsweise in einem Liter

2 Gramm Wasserstoff oder
28 Gramm Stickstoff oder
32 Gramm Sauerstoff oder
44 Gramm Kohlendioxyd

enthalten sein.

In der atmosphärischen Luft sind aber etwa 79 % Stickstoff, nicht ganz 21 % Sauerstoff und nur 0,04 % Kohlendioxyd enthalten: es ergibt sich also nach den vorstehenden Betrachtungen, der sog. „Kinetischen Theorie der Gase", daß der Gasdruck des Kohlendioxydes in der Luft im Vergleich zu dem des Stickstoffes und auch des Sauerstoffes verschwindend klein ist. Aber selbst wenn die Gasdrucke gleich groß wären, wenn also in 104 Teilen Luft 28 Raumteile Stickstoff, 32 Sauerstoff und 44 Raumteile Kohlendioxyd enthalten wären, würde die Ausströmungsgeschwindigkeit des Kohlendioxydes im Vergleich zu der des Sauerstoffes und Stickstoffes noch gering sein; denn bei gleichem Druck verhalten sich die Quadrate der Ausströmungsgeschwindigkeiten verschiedener Gase umgekehrt wie ihre spezifischen Gewichte.

Untersuchen wir nun an der Hand dieser unumstößlich bewiesenen Gesetze die Ausströmungsverhältnisse der Gase im Pflanzenblatt.

Sobald die Assimilation einsetzt, wird Kohlensäure reduziert, Sauerstoffgas wird frei, sein Gasdruck steigt, und es strömt durch die Spaltöffnungen nach außen. Seine Menge ist so groß, daß bei Wasserpflanzen, die man mit einer Nadel ansticht, ein ständiger Strom von Gasblasen aufsteigt. — Gegen diesen starken Strom, der eine große Geschwindigkeit hat, soll nun durch dieselben Spaltöffnungen von dem trägen, unter ganz geringem Druck

stehenden Kohlendioxyd so viel in die Interzellularen einströmen, daß die Pflanze zur Assimilation genug bekommt? Das ist doch ganz undenkbar.

Zur Ermittlung des durch die Assimilation frei werdenden Sauerstoffes hat man in Wasser untergetauchte Wasserpflanzen verwendet. Da sich ein erheblicher Teil des Sauerstoffes im Wasser löst, können die gefundenen Zahlen natürlich wenig nützen.

Als einen weiteren Beweis dafür, daß die Landpflanzen die Kohlensäure aus der Luft entnehmen müssen, wird angeführt, daß sie, wenn man ihnen diese vorenthält, nicht gedeihen. Die in dieser Richtung ausgeführten Experimente leiden wieder unter dem Mangel der Kenntnis der Gasgesetze. — Entfernt man die Kohlensäure aus der die Pflanzen umgebenden Luft, so entfernt man sie auch aus der Pflanze selbst; denn man schafft zwischen dieser und der sie umgebenden Luft einen so starken Überdruck für die Kohlensäure in der Pflanze, daß sie aus ihr stürmisch entweichen muß. — Bekannt genug ist ja ein ähnliches Experiment mit ganz abgestandenem Bier, aus dem, wenn es unter die Glocke einer Luftpumpe gebracht wird, noch große Mengen von Kohlensäure unter starkem Aufschäumen entweichen.

Aus den angeführten Gründen dürfte zur Genüge hervorgehen, daß auch die Landpflanzen, während sie assimilieren, nur geringe Mengen Kohlensäure aus der Luft entnehmen können. — Sie müssen dieses Gas folglich durch das Bodenwasser, in dem es gelöst als wirkliche Kohlensäure enthalten ist, aufnehmen. Diese Ansicht ist ja auch von vielen Forschern, namentlich auch von Unger (1855, nach Jost S. 144) vertreten worden. —

Daß zahlreiche Pflanzen ohne das Kohlendioxyd der Luft auskommen, beweisen die Wasserpflanzen, und da die ersten grünen Pflanzen auf der Erde im Wasser entstanden sind, ist die Fähigkeit der Pflanzen, die Kohlensäure aus dem Wasser zu entnehmen, eine ursprüngliche. — Daß früher ein großer Gasdruck für die Kohlensäure auf der Erde geherrscht haben muß, folgt aus der großen Eigenwärme, die damals die Erde besaß, und noch heute leben grüne Algen in heißen Quellen, wie dem Karlsbader Strudel, wenn diese reich an Kohlensäure sind.

60. Daß das in der Luft humoser Böden enthaltene Kohlendioxyd ausreicht, um für die Pflanzen genügend Kohlensäure zu liefern, steht außer Frage. Nach Wollny (bei Jost S. 113) beträgt der Gehalt an Kohlendioxyd im Winter, als dem Minimum, 0,7 %, im Sommer, dem Maximum, 4,8 %. Bei der großen Oberfläche, die die den Bodenteilchen adhärierenden Wasserschichten bieten, findet eine dem Gasdruck und der Temperatur entsprechende Sättigung des Wassers mit Kohlensäure sicher statt. — Daß die Wurzelspitzen tatsächlich sehr reich an Kohlensäure sind und hauptsächlich durch diese lösend auf die Gesteine wirken, ist experimentell bewiesen.

Wenn die Kohlensäure durch die Pflanzenwurzeln aufgenommen und nach den Verbrauchsstellen geleitet wird, muß sie natürlich in diesen Leitungsbahnen jederzeit nachweisbar sein. Man müßte sie also beispielsweise in Baumsäften und durch geeignete Reagenzien auch in Stämmen und Zweigen wachsender Pflanzen nachweisen können. Dies ist auch tatsächlich möglich.

Das gebräuchlichste Reagens für Kohlensäure ist bekanntlich Kalkwasser. Bohrt man im Frühjahr Bäume, die stark bluten, wie Birken, an, oder schneidet vom Weinstock einen Zweig ab und fängt den Saft auf, so wird man beim Zusetzen von Kalkwasser zu diesem Safte zwar in der Regel eine vorübergehende Trübung bemerken, die Flüssigkeit wird aber wieder klar, weil so viel überflüssige Kohlensäure im Safte enthalten ist, daß sich in ihr das Kalziumkarbonat in das Bikarbonat verwandelt, das bekanntlich im Wasser löslich ist. Kocht man aber diese Lösung, so wird die überschüssige Kohlensäure ausgetrieben, und die unlösliche kohlensaure Kalkerde wird als reichlicher weißer Niederschlag sichtbar. — Es sind also schon im Frühjahrssaft der Birke und des Weinstockes so reichliche Mengen an Kohlensäure enthalten, daß eine Umwandlung des Kalziumkarbonates in das Bikarbonat stattfindet.

Die Untersuchungsmethode mit Kalkwasser ist nur anwendbar, wo größere Menge von Pflanzensäften zur Verfügung stehen. Es ist aber notwendig, ein Mittel zu haben, das uns gestattet, die Kohlensäure auch an beliebigen Stellen der Pflanze nachzuweisen. Ein solches haben wir im Kongorot. Dieser tiefrote Farbstoff aus der Gruppe der Diphenyle hat die Eigenschaft, sich durch Kohlensäure braun, durch alle anderen Säuren aber blau zu färben. — Wendet man das Kongorot in genügend starker Ver-

dünnung an, so ist es ein äußerst empfindliches Reagens. In Birken- oder Weinstocksaft eingetropft färbt es sich sofort braun.

Die Kohlensäure ist also in allen wachsenden Pflanzenteilen reichlich vorhanden und nachweisbar, und ihr Vorhandensein in dem durch die Wurzeln aufgenommenen Wasser erklärt auch leicht eine Erscheinung, die den Physiologen viel Nachdenken verursacht hat, nämlich die der sog. Luftwasserketten oder Jaminschen Ketten. (Jost S. 88.) In wasserleitenden Gefäßen von Bäumen findet man nämlich Gasblasen, die die Wassersäule in ihnen derartig unterbrechen, daß die genannten Luftwasserketten entstehen. Beständen diese Blasen, wie man annimmt, wirklich aus Luft, so würde durch sie nach den hydrostatischen Gesetzen das Aufsteigen des Wassers in den Gefäßen gehindert werden. Man denke nur an den Winkelheber, der aufhört zu laufen, sobald sich in seinem Winkel Luft angesammelt hat. — Alle Erklärungsversuche, wie sich der Wasseraufstieg in der Pflanze, in deren Gefäßen sich Luftwasserketten befinden, vollzieht, sind mit den Gesetzen der Physik unvereinbar, wenn man annimmt, daß die Gasblasen der Jaminschen Ketten aus Luft bestehen. — Die Kongorotprobe zeigt uns nun, daß wir es hier nicht mit Luft, sondern mit Kohlensäure zu tun haben, und deren Vorhandensein erklärt sich sehr leicht, wenn wir uns daran erinnern, daß die Absorptionsfähigkeit des Wassers für Kohlensäure mit steigender Temperatur abnimmt. — Das Bodenwasser, das aus der Tiefe stammt, hat in der Vegetationszeit in der Regel eine niedrigere Temperatur als die Luft, und seine Absorptionsfähigkeit für Gase ist deshalb größer als die des Wassers in den oberirdischen Leitungsbahnen. Sobald dann der Druck in den Gefäßen der Pflanze niedrig genug wird, was durch die saugende Wirkung der Transpiration und Osmose eintreten muß, dann bleibt natürlich nur so viel Kohlensäure gelöst, als der Temperatur und dem Druck entspricht, und der Überschuß bildet die bekannten Ketten. Mit dem Sinken der Temperatur und dem Steigen des Druckes tritt wieder vollständige Lösung ein.

61. Wenn also regelmäßig Kohlensäure oder Kohlendioxyd als freies Gas in den Gefäßen auftreten kann, so ist die Gefahr für die Pflanzen, große Gasverluste zu erleiden, nicht gering, besonders bei hohen Bäumen. — Die Pflanzen müssen deshalb Schutzmittel hiergegen haben, wenn sie lebensfähig bleiben wollen.

Diese Schutzmittel können zweierlei Art sein. Entweder umgibt sich die Pflanze mit einer so dichten Rinde, daß diese gegen Gasausströmen schützt, oder sie bildet so starke Borke, daß durch diese zu große Erwärmung verhindert wird, oder endlich sie sucht durch tief herabhängende Beastung oder dichten Stand die Wärmestrahlen von ihren Stämmen abzuhalten.

So viel mir bekannt ist, hat bis jetzt noch niemand auf das Verhältnis zwischen Borkebildung und Lichtstand der Bäume hingewiesen, und doch besteht sicher ein ganz bestimmter Zusammenhang zwischen beiden; denn bei der bekannten Sparsamkeit der Pflanzen müssen diese doch zwingende Gründe haben, so große Energiemengen, wie zur Bildung von Kork, aus dem die Borke zum größten Teile besteht, aufzuwenden. — Zum Schutze gegen die Kälte ist die Borke nicht geschaffen, sonst müßte die Buche auch welche haben, und die jüngsten Äste und Zweige, denen sie dann doch am nötigsten wäre, dürften nicht borkenlos bleiben.

Die Borke soll also einen Schutz gegen die Wärme gewähren, damit die Absorptionsfähigkeit des Wassers im Stamme nicht zu tief sinkt. Aus demselben Grunde findet auch wohl das Wassersteigen im Holzkörper und nicht in der Rinde statt. — An Stelle der Borke kann auch, wie bei der Birke, eine dichte Rinde treten, die durch ihre alle Licht- und Wärmestrahlen stark reflektierende weiße Farbe vor zu starker Wärmeabsorption schützt. — Die Lärche, die, wie wir wissen, auch aus anderen Gründen sehr empfindlich gegen zu hohe Temperaturen ist, bildet eine Borke aus, deren Masse nicht weniger als 12 % ihres Gesamtinhaltes beträgt.

Wir können also sagen: „Die Borkebildung einer Holzart muß für uns ein Maßstab sein, wie weit wir mit ihrer Freistellung gehen dürfen."

Stellen wir Holzarten mit glatter Rinde – außer der auf andere Art geschützten Birke – zu licht, dann erschweren wir ihnen die Deckung ihres Kohlensäurebedarfes; wir schädigen sie also direkt im Wachstum, und zwar um so mehr, je jünger sie sind, weil dann ihre Rinde noch dünner ist als beim Altholze. Welche Folgen diese Freistellungen außerdem noch haben, ist uns ja bekannt; sie lassen sich oft nicht vermeiden, entwerten aber das Holz. —

Daß durch plötzliche Freistellungen der Borkenkäferfraß sehr

vermehrt wird, ist wohl ziemlich bekannt. Wer längere Zeit in Revieren gewesen ist, in denen Kulissen- und Löcherhiebe ausgeführt worden sind, wird wissen, daß an deren Rändern regelmäßig die meiste Trocknis zu finden ist. —

Wie gegen die Pilze, so haben unsere Waldbäume auch gegen die Insekten natürliche Schutzmittel, und zu diesen gehört nach meiner Ansicht auch die im Stamme vorhandene Kohlensäure. Das Luftbedürfnis der kleinen Käfer ist nicht sehr groß; man kann sie tagelang in engen Röhrchen halten, ohne daß sie davon sterben. Ist es da nicht auffallend, daß die unter der Rinde lebender Bäume fressenden Insekten so peinlich für Ventilation sorgen, und zwar merkwürdigerweise nach unten, während die im abgestorbenen Holze lebenden dies nicht tun? Ich erwähne hier nur den Eccoptogaster destructor in Birken, den Hylesinus piniperda unter der Rinde und in den Triebspitzen der Kiefer, den Hylesinus minor und verschiedene Bostrichiden. Sind die Luftlöcher nicht so angelegt, daß das schwere Kohlendioxyd aus ihnen leicht herausfließen kann?

62. Ähnliche Beziehungen, wie sie zwischen Borkebildung und Freistand der Holzarten vorhanden sind, bestehen auch in bezug auf die Wurzelbildung. — Eiche und Buche wachsen auf denselben Standorten; warum hat die Buche eine flache Bewurzelung und die Eiche eine Pfahlwurzel? Das Wasserbedürfnis kann der Grund nicht sein; denn die Buche mit ihrer viel dichteren Belaubung verdunstet jedenfalls mehr Wasser als die Eiche. Warum haben alle Holzarten, die eine starke Borke bilden, tiefgehende Wurzeln, und zwar auch auf feuchtem Boden? Das kann doch nur darin seinen Grund haben, daß sie, weil sie sich von Natur freistellen, ihren Kohlensäurebedarf aus den Erdschichten beziehen müssen, in denen die Temperatur dauernd niedrig genug ist, um dem Wasser eine hinreichende Absorptionsfähigkeit für Kohlensäure zu erhalten. —

Eine auffallende Beziehung zwischen der Wurzelausbildung und der Entwicklung der Borke ist kürzlich festgestellt worden. — Messungen, die bezweckten, den Festgehalt des Grubenholzes zu ermitteln, haben nämlich ergeben, daß die Rinde der Kiefern, die auf Bruchflächen und im Gebirge gewachsen sind, sehr viel stärker ist als die der von anderen Standorten. — Nimmt man an, daß die Kiefern die Kohlensäure, die sie zur Assimilation

brauchen, größtenteils durch die Wurzeln aus dem Boden aufnehmen, so erklärt sich diese Erscheinung eigentlich von selbst. Infolge des der Kiefer eigentümlichen lichten Standes erwärmen sich die oberen Bodenschichten leichter, und die Absorptionsfähigkeit des Bodenwassers für Gase nimmt ab. Mit der geringeren Menge von Kohlensäure muß die Kiefer deshalb möglichst sparsam umgehen, und um sich vor unnötigen Verlusten zu schützen, bildet sie eine stärkere Borke. Dieselbe Erscheinung finden wir übrigens auch auf ärmeren Böden, und hier wäre eine starke Borkebildung doch eine unverantwortliche Verschwendung, wenn sie nicht durchaus notwendig wäre.

63. Ein weiterer Grund für die Annahme, daß die Kohlensäure zur Assimilation nicht aus der Luft entnommen werde, ist darin zu finden, daß selbst bei dauernd hohen Temperaturen der Luft eine Assimilation in den Nadeln unserer immergrünen Waldbäume nicht eher stattfindet, als bis die Bodentemperatur eine bestimmte Höhe erreicht hat. Warum wachsen die Kiefern und Fichten nicht, obwohl der Gehalt der Luft an Kohlendioxyd zu allen Jahreszeiten doch gleich ist? Daß tatsächlich keine Assimilation stattfindet, kann man leicht feststellen, wenn man von den belichteten Nadeln mikroskopische Schnitte fertigt und diese mit Glyzerin behandelt. Ist Zucker gebildet, dann ist er bald in Form stark glänzender Tröpfchen zu erkennen. — Man könnte einwenden, daß die Bäume eine Ruheperiode durchmachen müssen. A. Fischer (1890), dem Russows Untersuchungen (1882) vorausgingen (bei Jost S. 422), hat festgestellt, daß die parenchymatischen Gewebe unserer Bäume im Herbste mit Stärke erfüllt sind. Diese beginnt sich im Oktober zu lösen, und es tritt Fett und zum Teil auch Glykose (Traubenzucker) an ihre Stelle; bei gewissen Bäumen erfolgt diese Verwandlung nur in der Rinde, während im Holze Stärke erhalten bleibt; bei anderen — Tilia, Betula, Pinus — verschwindet die Stärke vollkommen, und demnach sind diese Bäume vom November ab bis Ende Februar völlig stärkefrei. Im März aber wird diese Stärke regeneriert, und kurz vor dem Austreiben findet sie sich ungefähr in der gleichen Menge wie im Herbst. Diese Stärke wird dann erst bei der Bildung der neuen Triebe gelöst. — Der Schluß der eigentlichen Ruheperiode fällt mit der Zeit des Stärkeminimums zusammen; erst wenn alle Stärke gelöst ist, kann man mit Erfolg treiben.

Dieses Minimum fällt für die Kiefer in die Zeit von November bis Ende Februar: es läge also doch nicht der geringste Grund dafür vor, daß die Kiefer das Kohlendioxyd nicht schon im März assimilierte, wenn sie es aus der Luft entnähme und diese warm genug wäre. — Nehmen wir aber an, daß der Kohlensäurebedarf der Pflanzen durch die Wurzeln aus dem Boden gedeckt wird, dann erklärt sich das späte Einsetzen der Assimilation sehr leicht. Zunächst ist die Bodenluft, wie bereits erwähnt wurde, im Winter sehr arm an Kohlendioxyd. — Ferner hat Rysselberghe (1901, bei Jost S. 39) experimentell festgestellt, daß die Geschwindigkeit der Wasserbewegung durch das Protoplasma mit der Temperatur sehr schnell abnimmt.

Wenn sie bei	0°	Wärme	= 1	ist, so ist sie
„	6°	„	= 2	
„	12°	„	= 4,5	
„	16°	„	= 6	
„	20°	„	= 7	
„	25°	„	= 7,5	
„	30°	„	= 8.	

Rysselberghe erklärt sich dies aus rein physikalischen Ursachen und macht darauf aufmerksam, daß auch Gelatine je nach der Temperatur recht beträchtliche, aber doch noch immer kleinere Unterschiede als das Protoplasma in dem Widerstande zeigt, den sie dem Wasserdurchtritt entgegensetzt. —

Wenn wir uns erinnern, daß die Wärme alle Lebensvorgänge in der Pflanze, wie z. B. die Atmung und das Wachstum, nach Richtung und Größe so wesentlich beeinflußt, wenn wir weiter bedenken, daß wir das Leben nicht einfach als eine Reihe von physikalischen und chemischen Prozessen auffassen können, daß „Kraft und Stoff" uns das, was Leben ist, nicht zu erklären vermögen, dann dürfen wir uns auch nicht wundern, daß zur Erklärung vieler Lebensvorgänge physikalische und chemische Kenntnisse nicht ausreichen. — Osmose und Kapillarität verursachen Wasserströmungen in der Pflanze, sie reichen aber allein nicht aus, um unsere Waldbäume vor dem Vertrocknen zu schützen; wir müssen immer noch annehmen, daß sich zu diesem Zwecke besondere Lebensvorgänge in der Pflanze abspielen.

64. Es ist bereits darauf hingewiesen worden, daß zwischen Borkebildung, Wurzeltiefe und dem Lichtstandsbedürfnis unserer

einheimischen Holzarten bestimmte Beziehungen bestehen, und es wurde die Vermutung ausgesprochen, daß die verschiedene Wurzeltiefe dadurch bedingt sei, daß eine bestimmte Absorptionsfähigkeit des Bodenwassers vorhanden sein müsse, und daß diese wieder von der Temperatur abhängig sei. — Eine Bestätigung dieser Annahme glaube ich in den Beobachtungsergebnissen der forstlich-meteorologischen Stationen (23. Jahresbericht-Berlin 1899) zu finden.

Professor Schubert hat in dieser Schrift (S. 104 ff.) vieljährige Mittel der Luft- und Bodentemperaturen bearbeitet, und wir wollen uns aus den vielen Stationen je eine im Kiefern-, Fichten- und Buchenbestande auswählen, deren mittlere Jahreslufttemperaturen im Bestande, —1,2—1,3 m vom Erdboden gemessen, sich am nächsten stehen.

Es sind dies:

a) Kurwien in Ostpreußen. Die Feldstation liegt 131, die Waldstation 130 m über der Ostsee, letztere in einem 90 bis 150jährigen Kiefernbestande. Der Boden ist diluvialer Sand.

b) Fritzen in Ostpreußen. Die Feldstation liegt 36, die Waldstation 32 m hoch, letztere in einem 55jährigen Fichtenbestande mit eingesprengten Birken, Aspen, Eichen und Kiefern. Der Boden ist frischer, humoser lehmiger Sand der Diluvialformation.

c) Friedrichsrode im nördlichen Thüringen. Die Feldstation liegt 441, die Waldstation 447 m hoch, letztere in einem 80 bis 90jährigen Buchenbestande. Der Boden ist oberer Wellenkalk mit schwacher Humusschicht.

Die Temperaturen sind Mittelwerte von fünfzehnjährigen Beobachtungen aus den Jahren 1876—1890. Die Beobachtungen fanden um 8 Uhr vormittags und 2 Uhr nachmittags auf dem Felde und darauf im Walde statt. Die Zahlen sind die arithmetischen Mittel dieser beiden Beobachtungen. — Da diese Werte nur für größere Tiefen von 0,6 m an mit hinreichender Genauigkeit als wahre Tagesmittel gelten können, während sie nach obenhin im allgemeinen mehr und mehr davon abweichen, habe ich sie der besseren Übersicht wegen auch nur von 0,6 m ab berücksichtigt und in die nachstehende Tabelle aufgenommen.

Es betrugen die Temperaturen:

Im Monat	Im Freien der Luft			Im Bestande der Luft			Im Bestande des Erdbodens tief: 0,6 m			Im Bestande des Erdbodens tief: 0,9 m			Im Bestande des Erdbodens tief: 1,2 m		
	Ki.	Fi.	Bu.	Ki.	Fi.	Bu.	Ki.	Fi.	Bu.	Ki.	Fi.	Bu.	Ki.	Fi.	Bu.
Januar	−4,1	−3,0	2,1	4,1	−3,0	2,1	1,6	1,4	2,3	2,7	2,2	3,2	3,4	3,0	3,8
Februar	−2,3	1,7	−0,5	−2,6	−1,9	−0,5	1,1	1,0	1,7	2,0	1,6	2,5	2,6	2,3	3,0
März	0,5	0,1	1,8	0,0	−0,2	1,9	1,1	0,9	2,0	1,8	1,4	2,5	2,3	2,0	2,8
April	8,9	7,7	7,6	8,2	6,8	7,7	3,0	2,3	4,2	3,0	2,3	3,8	3,0	2,5	3,6
Mai	14,8	13,3	12,8	14,2	12,2	12,1	7,3	6,0	7,5	6,5	5,3	6,5	6,0	4,8	5,7
Juni	19,5	18,0	16,6	18,9	16,5	14,7	10,8	9,9	9,8	9,6	8,9	8,6	8,9	8,0	7,5
Juli	**20,6**	**19,6**	**17,7**	**19,8**	**17,9**	**15,6**	12,8	12,1	11,4	11,6	11,0	10,1	10,8	10,1	9,0
August	19,0	18,7	17,2	18,1	17,0	15,3	**13,0**	**12,8**	**11,9**	**12,3**	**11,9**	**10,9**	**11,7**	**11,2**	**9,9**
September	14,9	15,1	13,8	14,1	13,8	12,4	11,8	11,9	11,0	11,6	11,5	10,6	11,3	11,1	**9,9**
Oktober	7,5	7,8	7,4	7,0	7,3	7,0	8,7	8,9	8,7	9,2	9,2	9,0	9,5	9,4	8,9
November	1,9	2,4	2,4	1,7	2,2	2,3	5,6	5,7	5,8	6,5	6,4	6,6	7,1	6,9	7,0
Dezember	−2,9	−1,9	−1,4	−2,9	−1,9	−1,4	3,2	3,0	3,7	4,3	3,9	4,6	5,0	4,7	5,2
Das Jahresmittel betrug	8,2	8,0	7,8	7,7	7,2	7,1	6,7	6,3	6,7	6,8	6,3	6,6	6,8	6,3	6,4

Die Erdbodentemperaturen betrugen zur gleichen Zeit im Felde.

Im Monat	Im Bestande des Erdbodens tief: 0,6 m			Im Bestande des Erdbodens tief: 0,9 m			Im Bestande des Erdbodens tief: 1,2 m		
	Ki.	Fi.	Bu.	Ki.	Fi.	Bu.	Ki.	Fi.	Bu.
Im Juni	14,5	14,7	13,3	13,1	13,2	11,7	11,8	11,9	10,3
Im Juli	**16,4**	**16,9**	**15,2**	**15,1**	15,7	13,8	14,0	14,0	12,5
Im August	15,8	16,6	15,1	**15,1**	**16,0**	**14,2**	**14,4**	**15,2**	**13,2**
Im September	13,4	14,3	12,8	13,4	14,2	12,8	13,2	14,0	12,4
Jahresmittel	7,7	7,6	7,5	7,8	7,5	7,4	7,8	7,4	7,4

Besser als die Tabellenform würde eine graphische Darstellung den Gang der verschiedenen Temperaturen zur Anschauung bringen; wegen der Größe der hierzu erforderlichen Zeichnung muß aber leider von deren Wiedergabe Abstand genommen werden.

Aus der vorstehenden Tabelle und einer nicht beigefügten graphischen Darstellung ergibt sich, daß die Lufttemperatur in allen drei Beständen Mitte Januar am tiefsten ist, —2,1 in Buchen, —3,0 in Fichten und —4,1 im Kiefernbestande. Sie steigt von da ab und erreicht im letzten Drittel des März die Erdbodentemperaturen der obersten Bodenschicht in diesem Monat. Im Juli ist sie am höchsten mit 19,8° im Kiefern-, 17,9 im Fichten- und 15,6° im Buchenbestande. — Die Lufttemperaturen der benachbarten Feldstationen betrugen im Freien 20,6:19, 6:17,7°; von einem kühlen Schatten des Waldes war also nicht viel zu spüren.

Von Mitte Juli ab sinkt die Lufttemperatur wieder und erreicht Ende September den Stand der Bodentemperatur. In den ersten Tagen des Oktobers ist sie in allen drei Beständen gleich (9,3) und schneidet zu dieser Zeit die Kurve der Erdbodentemperatur für 1,2 m Tiefe im Buchenbestande.

Im Erdboden sind die Extreme zwischen niedrigster und höchster Temperatur natürlich geringer. — Da immer eine gewisse Zeit erforderlich ist, ehe sich der Boden erwärmt oder abkühlt, fallen Maxima und Minima zeitlich mit denen der Lufttemperatur nicht zusammen.

Nimmt man an, daß sich die Saugwurzeln der Kiefern in einer Tiefe von 0,6–1,2 m und mehr, die der Fichten und Buchen von 0,6—0,9 m befinden, dann ergibt sich die auffallende Tatsache, daß die Temperaturunterschiede für die Bodentiefen, in denen sich die Wurzeln der drei Holzarten befinden, zur selben Zeit höchstens nur wenige Zehntel mehr als 1° betragen. Größere Temperaturunterschiede scheinen dem Wachstum der Bäume nicht günstig, oft sogar schädlich zu sein.

Es ist wohl allgemein bekannt, daß einzeln eingemischte Tiefwurzler, wie beispielsweise die Eiche, im Bestande von Flachwurzlern, z. B. der Fichte nicht gedeihen. Auch im Buchenbestande ist die Eiche auf gutem Boden zwar anfangs vorwüchsig; je höher aber der Buchenbestand und je geringer hierdurch die Wärmestrahlung auf den Erdboden wird, um so mehr

bleibt sie im Wuchse zurück und ist dann durch keinen Freihieb mehr zu retten. Dies erklärt sich sehr einfach, wenn man bedenkt, daß die in der Tiefe wurzelnde Eiche im Buchenbestande Erdbodentemperaturen vorfindet, die um 2° und mehr niedriger sind, als sie es verlangt.

Im Buchenbestande sind in den ersten Tagen des April, im Kiefernbestande Mitte dieses und im Fichtenbestande am Ende dieses Monats alle Schichten des Bodens von 0,3—1,2 m Tiefe gleich warm. Dieser Zeitpunkt ist wahrscheinlich bestimmend für den Beginn der Vegetation. Von da an steigen die Erdbodentemperaturen am schnellsten im Kiefern-, dann im Buchen- und am langsamsten im Fichtenbestande. Auffallend niedrig sind im letzteren die Temperaturen in den Tiefen von 0,9 m und mehr. Für einzeln eingesprengte Eichen ist hier kein geeigneter Standort. Auch reihenweise eingebracht bleiben sie unsere ständigen Sorgenkinder. Man fängt frühzeitig an zu läutern und haut später in kurzen Zwischenräumen die Eichen frei, man verwendet für ihre Pflege Arbeit und Geld und hat doch keine Freude an dieser Wirtschaft. Aus solchen Beständen wird nichts, weil nichts aus ihnen werden kann; denn Eiche und Fichte haben zu verschiedene Lebensbedingungen. Als gemischte Kultur wachsen sie ja scheinbar sehr schön, aber da ist die Eiche mit ihren Wurzeln auch noch nicht in die Tiefe gedrungen, aus der sie später ihre Nahrung suchen muß.

Aus dem gleichen Grunde eignet sich die Fichte auch nicht zum Unterbau der Eiche. Ich habe aus mehreren 100jährigen Eichenbeständen, die nachträglich mit Fichten unterbaut waren, die beginnende Zopftrocknis der Eichen dadurch zum Stillstand gebracht, daß ich die unterbauten Fichten zum größten Teil entfernte.

Kiefer und Fichte passen besser zusammen, ebenso kann die Kiefer im Buchenbestande wachsen; denn die Bodentemperaturen von 0,6—0,9 m Tiefe im Buchen- und Fichtenbestande sind fast dieselben, die die Kiefer braucht. —

Im Juli und August steigen die Bodentemperaturen im Kiefern-, Fichten- und Buchenbestande über oder doch beinahe bis 12°. Es ist dies der Zeitpunkt der eigentlichen Ruheperiode (Jost S. 421). Sollte diese wirklich, wie man annimmt, nur auf inneren Ursachen beruhen, oder könnte nicht die durch die erhöhten Erdbodentemperaturen verminderte Absorptionsfähigkeit des Bodenwassers für Kohlensäure mit daran beteiligt sein? — Bei 6° Wärme

beträgt die Geschwindigkeit der Wasserbewegung durch das Protoplasma = 2, bei 12° = 4.5, bei 20° = 7; sollte sich das Wachstumsoptimum nicht als Komponente aus Kohlensäuregehalt des Bodenwassers und Wasserbewegungsgeschwindigkeit des Protoplasmas konstruieren?

Mag dem nun sein, wie ihm wolle, jedenfalls müssen wir Forstleute aus der Tatsache, daß die Wurzeln unserer Waldbäume in Tiefen wachsen, in denen zur gleichen Zeit ziemlich enge Temperaturschwankungen nicht überschritten werden, schließen, daß sie bei diesen Temperaturen die günstigsten Wachstumsbedingungen finden. Wir müssen deshalb alles vermeiden, was hier eingreifende Änderungen verursachen muß. Ich meine hier besonders die jetzt üblichen scharfen Hiebe in jüngeren Beständen. Die Axt ist im Walde ein noch wichtigeres Kulturwerkzeug als der Spaten, aber auch ein gefährlicheres. Solange wir noch nicht wissen, wieviel Licht und Wärme wir auf den Boden der Bestände durchlassen dürfen, müssen wir vorsichtig sein, etwas zu dunkel im Bestande ist jedenfalls viel besser als zu hell.

Wenn wir nun die Eiche mit Fichte und Buche einzeln oder reihenweise nicht mit Vorteil mischen dürfen, dann ist zu befürchten, daß für sie im Walde nur noch wenig Platz übrig bleiben wird; denn so guten Boden, daß man sie in reinen Beständen nachziehen kann, hat man nicht eben häufig und auch nicht in größerer Ausdehnung. — Man ist auch mit der Eichennachzucht in den letzten Jahrzehnten viel zu weit gegangen. Persönliche Liebhabereien, zu großer Optimismus und nicht zum geringsten Teile zu großer Diensteifer haben Waldbilder geschaffen, über die man sich wirklich nicht freuen kann. — Wie armer Leute Kinder sehen die Jungwüchse und noch mehr die Stangenhölzer oft aus. Man versucht es mit Läuterungen und Durchforstungen, entnimmt die schlechtgeformten und die unterständigen Stämme, die doch am unentbehrlichsten sind und tröstet sich damit, daß man die Wurzelkonkurrenz vermindert hat: in Wirklichkeit sieht der Bestand aber nur deshalb besser aus, weil man das schlecht Aussehende aus ihm entfernt hat, den Zuwachs hat man hierdurch höchstens für ganz kurze Zeit gehoben. — Wir müssen uns also freimachen von aller Sentimentalität, die bei uns Deutschen in der Eichenanbaufrage immer noch viel zu viel mitspricht, und die Eiche nur noch auf solchen Standorten nachziehen, auf denen sie als reiner Bestand gedeihen kann.

Unter Bestand verstehe ich hier auch Gruppen, sofern diese so groß sind, daß die Eigentümlichkeiten der Holzart, die auf ihnen steht, voll zur Geltung kommen können. —

Der anatomische Bau der Eichenblätter, die langen Zeiträume, die erforderlich sind, ehe die Eiche ihre Blätter dem Lichtwechsel angepaßt hat, die Rinden- und Wurzelbildung sprechen eine so deutliche Sprache, daß sie eigentlich nicht mißverstanden werden kann.

Von wesentlichem Einflusse auf die Erdbodentemperaturen muß das Unterholz sein. Ob dieser Einfluß günstig oder ungünstig ist, hängt ganz von der Holzart, seiner Höhe und seiner Dichtigkeit ab. Fichte und Eiche vertragen sich, wie schon erwähnt worden ist, auf die Dauer nicht. Die Buche wird im Eichenbestande so lange nützlich sein, bis sie als Buchenbestand zu wirken beginnt. Man wird sie also nicht zu früh einbringen dürfen und nicht zu dicht werden lassen. Weißtanne wird sich wahrscheinlich ähnlich wie Fichte verhalten.

Daß gleichaltrige und ältere Eichen im Kiefernbestande gut gedeihen können, ist bekannt. Die Erdbodentemperaturen sind für die Eiche günstig, und es wirken, wie wir später noch sehen werden, wohl auch noch andere Umstände mit. Daß die Fichte, die nach der Theorie unter oder mit der Kiefer gedeihen kann, mit ihr auch wirklich gute Bestände gibt, zeigt die Erfahrung. —

Mit der Unterbaufrage, die jetzt, wie es scheint, wieder brennend zu werden beginnt, wollen wir uns noch später befassen; in der richtigen Weise und mit den richtigen Holzarten ausgeführt, muß der Unterbau unter allen Umständen eine große wachstumsfördernde Wirkung haben: ob er aber ausführbar ist, ist nicht nur eine Rentabilitätsfrage, es müssen vielmehr noch so viele andere Bedingungen erfüllbar sein, daß man in den meisten Fällen von ihm wird absehen müssen. —

Vergleichen wir die Maxima der Sommertemperaturen des Erdbodens im Felde und im Bestande, so finden wir, daß sie im ersteren durchweg höher sind und auch bei 0,6 m Tiefe einen Monat früher erreicht werden als im Bestande. Selbst in einer Tiefe von 1,2 m sind sie noch höher als die im Walde bei 0,3 m, die für Kiefer im Juli mit 14,2°, bei Fichte und Buche im August mit 13,8 und 13,1° erreicht werden. — Wie stark eine Lichtung oder starke Durchforstung temperaturerhöhend auf den Erdboden wirkt, muß natürlich von dem Grade ihrer Ausführung abhängen;

daß sie es aber tun muß, folgt wohl aus den angeführten Zahlen.

Der weitere Gang der Temperaturen hat für uns wenig Interesse. Ich möchte nur noch auf einen Irrtum aufmerksam machen, der sehr weit verbreitet zu sein scheint. Es wird nämlich vielfach geglaubt, daß der Schirm eines Bestandes den Jungwuchs vor Winterkälte schütze. Wenn dies wahr wäre, dann müßte es im Fichtenbestande am wärmsten und im Buchenbestande am kältesten sein. Das ist aber, wie uns die Zahlen der Tabelle beweisen, durchaus nicht der Fall, die Lufttemperaturen sind vielmehr im Felde und im Bestande im Januar vollständig und im Dezember fast gleich. Trotzdem schützt ein Schirmbestand gegen das Erfrieren, weil sich der Boden unter ihm viel später erwärmt, und weil unter dem Schirm die relative Feuchtigkeit viel größer und deshalb die Frostgefahr viel geringer ist.

65. Waren es bisher mehr theoretische Gründe, die uns zu der Annahme führten, daß die Pflanze ihren Kohlensäurebedarf zum größten Teil aus dem Bodenwasser deckt, so sprechen doch auch noch wichtige Tatsachen hierfür, die durch die Erfahrung festgestellt sind.

Zunächst ist auffallend, daß Kulturen in Nährstofflösungen, sog. Wasserkulturen, nur dann gut gedeihen, wenn man große Mengen Flüssigkeit (25 Liter und mehr) verwendet. Das nötige Wasser und die erforderlichen Nährstoffe würden auch in kleineren Gefäßen Platz haben, gedeihen doch oft große Pflanzen in kleinen Blumentöpfen. Man wird also wohl annehmen können, daß die große Flüssigkeitsmenge notwendig ist, um genügend Kohlensäure absorbieren zu können.

Die Gärtner wissen aus Erfahrung, daß Humus aus dem Walde für Topfpflanzen beinahe unentbehrlich ist, und sie beschaffen sich ihn ohne Rücksicht auf die Kosten. Wie sollte er im Blumentopf aber anders nützen als durch die bei der Zersetzung freiwerdende und sich im Wasser lösende Kohlensäure? An anderen Nährstoffen ist er arm, die kann man diesen Pflanzen auch auf andere Art meist billiger und bequemer zuführen.

Wer in seinen Saat- und Pflanzkämpen einmal angefangen hat mit Kompost zu düngen, wird nicht wieder davon abgehen. Die Erfolge sind zu auffallend. Aus was besteht denn dieser Kompost? Laub oder Moorerde, die sich in Bodenvertiefungen

angesammelt haben, werden durch Zusatz von Ätzkalk entsäuert und mehrere Jahre lang der Zersetzung überlassen. Der Kalk ist, wie wir wissen, kein Pflanzennährstoff; er ist nur unentbehrlich zur Neutralisierung der Oxalsäure; viel Pflanzennährstoffe sind in den Laub- und sonstigen Pflanzenresten, aus denen man den Kompost herstellt, nicht enthalten, und der Stickstoffgehalt hängt sehr von der Behandlung und Lagerstelle ab. Es wird also wohl auch hier in erster Linie die Kohlensäurebildung sein, die die günstige Wirkung hervorruft.

Als besonders beweiskräftig erscheinen mir aber für meine Behauptung die Untersuchungen Moellers über den Einfluß der Humusbeigabe auf einjährige und zweijährige Kiefern (Zeitschrift für Forst- und Jagdwesen, XXXIV S. 197—215 und XXXV S. 257 bis 272). Diese Ergebnisse sind in einem Preußischen Ministerialerlaß vom 17. Oktober 1903 (III. 13081) dahin zusammengefaßt, daß „in dem torfigen, faserigen Rohhumus, der bei den meist gebräuchlichen Arten der Bodenbearbeitungen für Kiefernverjüngungen gewöhnlich entfernt wird, alle Nährstoffe, deren die jungen Kiefern zu üppigstem Wachstum bedürfen, am reichlichsten und besten vorhanden seien. In dem unter dem Rohhumus liegenden mullartigen Humus, der sog. Damerde, sei der Kiefernwuchs zwar immer noch bemerkenswert, immerhin aber geringer als im Rohhumus.

Weniger sage der jungen Kiefer der ausgewaschene Bleisand, am wenigsten aber der gelbe Mineralsand trotz seines Reichtums an aufnehmbaren mineralischen Nährstoffen zu."

Also nicht die Menge der aufnehmbaren mineralischen Nährstoffe ist es, die das „üppigste" Gedeihen der Kiefern verursacht, sondern etwas anderes, das nicht zu den mineralischen Nährstoffen gehört.

Diese Ergebnisse der Moellerschen Untersuchungen sind von der allergrößten Bedeutung, besonders in einer Zeit, in der sich Mineraldünger vertreibende Gesellschaften erlauben dürfen, die Forstleute, die ihren Absatz nicht in der ihnen erwünschten Weise fördern, als rückständig zu bezeichnen.

In dem erwähnten Ministerialerlaß wird die düngende Wirkung des Rohhumus seinem Stickstoffgehalt zugeschrieben. Ich möchte das bezweifeln, weil die Nitrifikation des Humus durch Bakterien nur so lange stattgefunden haben kann, als letztere durch den abgetriebenen Bestand genügend Schutz vor den sie tötenden Licht-

strahlen hatten, und die durch sie gebildete Salpetersäure weder vom Humus noch vom Boden absorbiert wird, inzwischen also zum größten Teile durch Regen- und Schneewasser ausgewaschen sein muß. Ferner bauen, wie wir später noch erfahren werden, die Bakterien der Humusgärung die Salpetersäure in freien Stickstoff und Sauerstoff um, ihre günstige Wirkung könnte deshalb nicht von langer Dauer sein. — Wir werden deshalb auch hier wieder zu der Annahme gedrängt, daß es nur die Kohlensäure sein kann, durch die der Humus wachstumsfördernd wirkt.

Für die preußischen Staatsforsten ist angeordnet worden, daß in geeigneten Revieren Versuchsflächen in der Weise eingerichtet werden, daß bei Gleichheit aller übrigen Wachstumsbedingungen für Kiefern auf dem einen Teile nach flacher Entfernung der lebenden Pflanzennarbe die Humusschichten mit dem darüberliegenden Sande gemischt werden, auf dem anderen Teile nach Entfernung des torfigen faserigen Rohhumus der Boden in der sonst üblichen Weise bearbeitet wird. — Die Ergebnisse dieser Versuche werden wohl demnächst veröffentlicht werden. Daß sie, wenn sie richtig ausgeführt worden sind, die wachstumsfördernde Wirkung des Humus nur bestätigen können, ist nicht zu bezweifeln, und man wird Moeller nur beipflichten, wenn er die Art der Kiefernbestandsgründung als die am wenigsten günstige bezeichnet, die den für die jungen Kiefern wertvollsten Bodenbestandteil, den Humus, zur Seite wirft, wo er austrocknet und unnutzbar wird.

In einem früheren Kapitel (S. 63) wurde erwähnt, daß Liesegang die Vermutung ausgesprochen hat, die Assimilation des Kohlenstoffes werde durch Oxydation eines oxalsauren Eisensalzes eingeleitet, das sich durch Reduktion der Kohlensäure wieder regeneriere.

Wenn die Kohlensäure als Kohlendioxyd aus der Luft entnommen würde, dann wäre sie immer in genügender Menge vorhanden, und bei immergrünen Pflanzen könnte das Blattgrün auch im Winter keinen Schädigungen durch die Lichtwirkung ausgesetzt sein. — Anders wäre es, wenn bei nicht ganz ruhender Transpiration die Wasseraufnahme durch die Wurzeln unterbrochen wäre. Dann würde es denkbar sein, daß das Protoplasma durch eine lange andauernde Wirkung des sich im Lichte bildenden Eisenoxydulsalzes, das sich wegen Mangels an Kohlensäure nicht regenerieren kann, geschädigt und schließlich getötet werden könnte. —

Daß wirklich Fälle vorkommen, in denen auf ausgedehnten Flächen die Nadeln von Kiefern und Fichten ohne ersichtlichen Grund braun werden und absterben, ist bekannt. Ich erinnere nur an eine besondere Art von Schütte, bei der nachweislich Pilze nicht beteiligt sind, und die im Frühjahr 1906 besonders auffällig hervortrat. Sie hat schon früher Veranlassung gegeben, die Ursache der Schütte darin zu suchen, daß die Kiefern zu einer Zeit transpirieren, in der ein Wassernachschub nicht stattfindet. Wenn der Tod aus diesem Grunde einträte, würde aber das auffallende Verfärben der Nadeln nicht stattfinden. Ich glaube deshalb, daß die Ursache dieser Art von Schütte in einer andauernden Zersetzung des Blattgrüns durch das Licht bei ganz oder doch wenigstens fast ganz gehemmter Wasseraufnahme durch die Wurzeln zu suchen sein wird.

Dritter Teil.

Boden und Nährstoffe.

66. Am Schlusse des vorigen Kapitels haben wir uns mit einem Stoffe beschäftigt, der im Walde eine außerordentlich wichtige Rolle spielt, und über den trotzdem die Ansichten so geteilt sind, wie sie es eben nur sein können. Die einen halten ihn für unentbehrlich, die anderen für überflüssig, und eine nicht geringe Zahl hält ihn sogar für schädlich. Wie wenig geklärt die Humusfrage ist, kann man schon daraus ersehen, daß man sich noch nicht einmal darüber geeinigt hat, wie man die einzelnen Humusformen benennen soll, und was man unter den verschiedenen Begriffen versteht.

Man spricht von Ansammlungen von Rohhumus im Bestande und stellt zu deren Beseitigung Vorbereitungsschläge. Man sieht hier als Ursache für die starke Ansammlung unzersetzter Pflanzenreste den zu dichten Bestandsschluß an. Im raumen Buchenbestande hat eine filzige Humusdecke den Boden überzogen. Die natürliche Verjüngung will sich nicht einstellen, man verwundet deshalb den Boden durch Hacken, Pflügen usw., um den „Rohhumus“ von der Oberfläche zu entfernen.

Als eine Folge unrichtiger Schlagführung auf Ödlandsflächen und aus vielen anderen Gründen bezieht sich der Boden mit Beer- und Heidekraut, und es bildet sich unter diesem „Rohhumus“.

In feuchten Lagen im Walde, in niederschlagsreichen Gegenden, oft auch auf hochgelegenen Stellen, wenn der Boden undurchlässig ist, siedeln sich Moose an. Zuerst Astmoose, bald aber auch Torfmoose. Der Humus unter ihnen bildet eine zähe, filzige Masse, es hat sich „Rohhumus“ gebildet.

In dem einen Falle ist es also der dichte Stand, in dem anderen der lichte, einmal die Trockenheit, das andere Mal wieder die Nässe, die ein und dasselbe Produkt, den „Rohhumus", verschuldet haben soll. Daß dies unmöglich ist, ergibt sich eigentlich von selbst, und ebenso selbstverständlich ist es, daß hier mit demselben Namen vier und mehr verschiedene Humusformen bezeichnet werden. — Dieser Unklarheit und Unrichtigkeit der Begriffe ist es nicht zum kleinsten Teile zuzuschreiben, daß wir in der Lösung der Humusfrage noch so weit zurück sind. Nur wer mit klaren Begriffen arbeitet, hat Aussicht, etwas zu erreichen, im anderen Falle ist der Erfolg vom Zufalle abhängig. — Es hat zwar nicht an Versuchen gefehlt, die Humusstoffe und Formen einheitlich zu bezeichnen (cf. die forstliche Rundschau, Bd. 8 Nr. 2 „Einheitliche Bezeichnung der Humusstoffe"), der eingeschlagene Weg scheint aber nicht zum Ziele zu führen.

Die Humusfrage ist wieder einmal brennend geworden. Der Volkswirt hält es nicht für zulässig, daß große Landstriche ertraglos liegen bleiben; der Forstmann, der immer eine Vorliebe für Exempel mit möglichst viel unbekannten Größen gehabt hat, macht Rentabilitätsberechnungen, wieviel verdient werden könnte, wenn jene Flächen in Bestand gebracht wären; man fragt den Chemiker, der den Humus als wertloses Zeug erklärt und ihn durch künstlichen Dünger ersetzt haben will, und geht dann mit dem Aufforsten an die Arbeit. Man wird zweifellos Erfolge haben, aber ebenso sicher auch Mißerfolge, und das Betrübende wird sein, daß man nicht wissen wird, worin die Ursachen für beide liegen.

Die Humusfrage ist ein Problem, das weder der Chemiker noch der Physiker werden lösen können, nur beide zusammen mit dem Physiologen können Aussicht auf Erfolg haben, weil bei der Humusbildung physikalische und chemische Prozesse zwar mitwirken, diese selbst aber durch lebende Organismen stattfindet, deren Studium sich schon eine große Anzahl von Spezialisten gewidmet hat.

Was ist nun Humus? — Der Chemiker kann uns über ihn nicht viel sagen, weil die verschiedenen Abbaustufen, in denen sich die Pflanzenreste befinden, eben verschiedene chemische Verbindungen darstellen, die mit den üblichen Reagenzien kaum bestimmbar sind, und von denen man annehmen kann, daß sie sich unter der Hand des Chemikers verändern. — Die Humus-

stoffe reagieren teils sauer, teils alkalisch, die eigentlichen Humussubstanzen, die Humine, sind in Alkalien löslich, und was im Humus außer den Huminen noch für andere organische Substanzen enthalten sind, darüber ist nicht viel bekannt. Daß man aber aus ihnen mit den gewöhnlichen chemischen Lösungsmitteln keine brauchbaren Pflanzennährstoffe extrahieren kann, beweist gegen die Bedeutung des Humus als Pflanzennährstoff gar nichts.

Der Physiker kann uns vom Humus auch nicht viel sagen. — Seine Bodenabsorption, d. h. seine Fähigkeit, aus wäßrigen Lösungen manche Nährstoffe an sich zu reißen und festzuhalten, ist groß, und seine Wasserkapazität von 55 Volumenprozenten übertrifft die des Tonbodens noch um 2, die des feinen Sandbodens um 25 und die des groben Sandes um 45 Volumenprozente. Auf die günstige Beeinflussung der Wasserkapazität des humushaltigen Sandbodens durch Bodenlockerungen wurde bereits früher (S. 117) hingewiesen. — Beide Eigenschaften machen ihn wertvoll, über sein eigentliches Wesen geben sie aber keinen Aufschluß, und wir müssen uns begnügen zu wissen, aus was Humus entsteht, und wie er entsteht.

67. Wenn pflanzliche Organe, wie Blätter, Blüten, Knospenschuppen usw., ihre Funktionen erfüllt haben, fallen sie von der Pflanze ab, durch die sie entstanden sind. Ehe dies geschieht, sind aus diesen Pflanzenteilen alle Stoffe, die die Mutterpflanze noch brauchen konnte, soweit sie löslich waren, ausgewandert. Das, was abfällt, enthält aber noch eine so große Menge der verschiedenartigsten organischen Verbindungen, daß diese, wenn sie nicht abgebaut würden und in den Kreislauf der Natur zurückkehrten, unsere Erde mit einer meterhohen Schicht von Pflanzenresten, besonders Zellulose, bedecken würden. Die höheren Pflanzen sind nicht fähig, die Zellulose, aus der die Wände der Zellen bestehen, zu lösen; ebenso sind für sie die übrigen Kohlenstoffverbindungen und die noch viel wertvolleren Stickstoffverbindungen wie die Eiweißkörper, die Amidosubstanzen und andere nicht eher assimilierbar, als bis sie zu Kohlendioxyd, Ammoniak, Salpetersäure usw. ab- bezw. umgebaut worden sind. — Diesen Ab- und Umbau besorgen niedere Pflanzen, zahlreiche Arten von Pilzen, von denen die einen verschwinden, wenn sie ihre Arbeit getan und den Nährboden für die folgenden vorbereitet haben. Dieses Vorkommen von Organismen nacheinander, das man Metabiose nennt (Ward 1899), ist von der größten Bedeutung; denn jeder

Organismus würde für sich allein sehr bald die Außenwelt derartig einseitig verändert haben, daß er nicht mehr lebensfähig wäre. Nur die Existenz zahlreicher verschieden funktionierender Organismen erlaubt die stete Wiederkehr des Lebens auf der Erde (Jost S. 295). Während der grünen Pflanze nur die Atmung die Möglichkeit gibt, komplizierte organische Verbindungen zu oxydieren und den durch die Energie des Lichtes reduzierten Kohlenstoff dem Kreislauf der Stoffe wieder einzureihen, stehen den Pilzen verschiedene Mittel zur Verfügung, organische Verbindungen abzubauen. Sie haben kein Blattgrün, und deshalb kann ihnen die Energie des Lichtes nur Wärme spenden, für ihren sonstigen Energiebedarf aber müssen sie sich eine andere Quelle suchen. Sie finden diese in den bereits fertigen Assimilaten des Kohlenstoffes, sei es, daß sie diese den lebenden Pflanzen und Tieren entreißen oder sich mit deren Abgängen begnügen.

Die komplizierteren organischen Verbindungen sind nun zunächst für Pilze auch nicht assimilierbar, sie müssen von ihnen erst gespalten werden. — Um dies zu können, scheiden die Pilze Stoffe aus, die die Fähigkeit haben, organische Verbindungen zu lösen oder zu vergären, d. h. ihre langsame, meist unter Gasentwicklung vorsichgehende Zersetzung herbeizuführen. Man nennt diese Stoffe Enzyme (Fermente).

Die Schimmelpilze und ihnen biologisch nahestehende Pflanzen sind nun hervorragend befähigt, mit dem verschiedensten organischen Material auszukommen (Jost S. 221/22). In erster Reihe sind es tote pflanzliche Gewebe oder Pflanzensäfte, die ihnen die Existenz ermöglichen. Sie überziehen abgefallene Blätter, Zweige usw. mit einer Pilzdecke, wenn nur genügend Feuchtigkeit vorhanden ist. Viele von ihnen haben die Fähigkeit, die Zellwände zu lösen, um zum Zellinhalt zu gelangen; in anderen Fällen lebt der Pilz hauptsächlich von Zellulose und hat dann sogar die Fähigkeit, verholzte Zellwände auszunutzen, indem er durch ein besonderes Enzym zuvor eine Spaltung in Zellulose und den dieser eingelagerten Holzstoff (das Hadromal) vornimmt. Die Zellulose wird assimiliert, und der Holzstoff bleibt übrig.

Eine andere Art des Abbaues der Zellulose geschieht durch Gärung. Wir verdanken Omelanski (bei Jost S. 264) die Kenntnis mehrerer Bakterien, von denen der eine die Zellulose in Essig- und Buttersäure, Kohlendioxyd und Wasserstoff, ein anderer später entdeckter in Methan, Kohlendioxyd und flüchtige

Säuren, unter denen sich wieder Essig- und Buttersäure befinden, zerlegt. In der Natur kommen die Bakterien der Wasserstoff- und Methangärung vielfach gleichzeitig vor; die entstandenen Stoffe sammeln sich aber nicht an, weil sich immer wieder andere Organismen finden, die mit spezifischen Fähigkeiten die ersten Gärungserreger ablösen, bis schließlich die organische Substanz in einfache anorganische Verbindungen übergeführt ist, die dann wieder von höheren Pflanzen ausgenutzt werden können.

Aber nicht nur die einfacheren organischen Stoffe, wie Kohlenhydrate, Säuren, Alkohole usw., werden, wenn sie sich von den lebenden Organismen getrennt haben, durch die Gärung abgebaut, auch die kompliziertesten, die Eiweißkörper, werden schließlich in einfache Körper zurückgeführt, wie in Kohlendioxyd, Methan, Wasserstoff, Ammoniak, freien Stickstoff, Schwefelwasserstoff und Phosphorsäure. Da sie nicht direkt gärungsfähig sind, müssen sie erst durch von den Pilzen ausgeschiedene Enzyme mehr oder weniger abgebaut werden, und erst die Spaltungsprodukte unterliegen der eigentlichen Gärung.

Uns Forstleute interessieren weniger die Namen der Pilze, die die Abfallstoffe im Walde abbauen, auch nicht die chemischen Vorgänge, die dabei stattfinden, uns kommt es fast ausschließlich darauf an, zu wissen, welche äußeren Bedingungen erfüllt werden müssen, damit ein vollständiger Abbau stattfindet, um diejenigen, die die Zersetzung des Humus hemmen oder in uns unerwünschte Bahnen leiten, fernzuhalten oder zu beseitigen.

68. Die Humusformen, die uns als schädlich für unsere Holzpflanzen bekannt sind, zeichnen sich durch eine Eigenschaft besonders aus, sie sind sauer, während der gute Humus neutral reagiert. —

Säuren im Boden hemmen, wie wir wissen, die Transpiration, und nur gewisse Pflanzen, wie Beer- und Heidekräuter, können bei ihnen gedeihen. — Die Bakterien haben, wie wir gesehen haben, die Fähigkeit, auch die kompliziertesten organischen Körper vollständig abzubauen, sie müssen also bei der Entstehung der sauren Humusformen nicht, oder wenigstens nicht in genügendem Maße haben mitwirken können.

Dies trifft auch tatsächlich zu. Die sauren Humusformen entstehen nicht durch Bakterien, sondern durch verschiedene Arten von Fadenpilzen. — Es ist bereits erwähnt worden, daß

einzelne Schimmelpilze zwar Zellulose assimilieren können, nicht aber den Holzstoff der Zellwand. Es ist auch bekannt, daß viele Schimmelpilze giftige Stoffe ausscheiden, wie Oxalsäure, die von Pflanzen nicht assimilierbar sind. — Die schädliche Wirkung dieser Fadenpilze besteht also in ihrer Unfähigkeit, einen vollständigen Abbau herbeizuführen und in der Produktion von Säuren, die gewöhnlich unter dem Namen Humussäuren zusammengefaßt werden. Außerdem ist festgestellt worden, daß höhere Pflanzen im Humus, wenn dieser reich an Pilzen ist, unter Mangel an Aschensubstanzen leiden, weil die Pilze, die ein sehr lebhaftes Bedürfnis nach diesen haben, es meist rascher zu befriedigen verstehen als die langsam wachsenden Phanerogamen, und diesen deshalb auf so nährsalzarmen Boden, wie der Humus einer ist, eine starke Konkurrenz machen.

Bei der ungeheuren Verbreitung der Bakterien liegt es auf der Hand, daß nicht ihr Fehlen der Grund sein kann, daß den Fadenpilzen die Humusbereitung an bestimmten Orten allein überlassen bleibt, sondern die Lebensbedingungen beider müssen so verschieden sein, daß die einen im Kampf ums Dasein entweder ganz unterliegen oder überhaupt nicht existieren können.

Von den Schimmelpilzen wissen wir, daß zu ihrem Gedeihen zweierlei notwendig ist, nämlich genügende Feuchtigkeit und saure Reaktion des Substrates, auf dem sie leben. Deshalb sind sie auch die ersten Pilze, die sich auf den abgefallenen Pflanzenblättern einfinden, weil in diesen gewöhnlich noch saure Pflanzensäfte vorhanden sind. Sie sind auch mit wenig Wärme zufrieden und finden sich deshalb auch im Winter auf kühl aufbewahrten Nahrungsmitteln ein. — Eine fernere Eigenschaft haben sie noch vor den Bakterien voraus, nämlich eine relativ große Unempfindlichkeit gegen Licht aller Wellenlängen.

Die Lebensbedingungen der Bakterien sind ziemlich entgegengesetzt. Sie vertragen keine große Nässe, beanspruchen fast durchweg eine alkalische oder doch wenigstens neutrale Reaktion des Substrates und verlangen höhere Temperaturen als die Schimmelpilze. Da sie sich aber, wenn diese Bedingungen erfüllt werden, ganz ungeheuer vermehren und außerdem ihre Entwicklungszeit sehr kurz ist, dominieren sie gegenüber den Schimmelpilzen, die längere Zeit zur Entwicklung brauchen und deren Vermehrungsfähigkeit im Vergleich zu ihnen nur gering ist. — Ihre große Empfindlichkeit gegen kurzwellige Lichtstrahlen ist schon erwähnt

worden (S. 67), sie sterben schon im stärkeren zerstreuten Lichte, und es ist durchaus begründet, wenn man das Sonnenlicht als ein vorzügliches Desinfektionsmittel schätzt.

Eine Eigentümlichkeit vieler Bakterien, die an der Humusgärung und der Bindung des Luftstickstoffes beteiligt sind, muß noch hervorgehoben werden, weil sie so wesentlich ist, daß wir auch bei unserer Wirtschaft auf sie Rücksicht nehmen müssen: sie sind nämlich mehr oder weniger anaërob, d. h. zum Durchlaufen ihrer normalen Entwicklung ist Sauerstoff nicht nötig, oder er ist ihnen sogar geradezu schädlich. — Ob diese Organismen nun den Sauerstoff aus den Verbindungen nehmen, die sie zersetzen, oder ob sie ganz ohne ihn auskommen, steht noch nicht fest. Geringe Mengen von Sauerstoff werden zwar wohl auch von den strengen Anaërobionten vertragen; es genügt aber oft schon ein kurzer Aufenthalt an der Luft, um viele von ihnen empfindlich zu schädigen, ein längerer um sie zu töten.

In der Natur findet die Zersetzung von Eiweißkörpern durch aërobe, d. h. sauerstoffliebende, und anaërobe Bakterien statt. Erstere verursachen die Verwesung, die unter Luftzutritt stattfindet, und wenn die aëroben Formen, was oft sehr bald eintritt, im Innern des Körpers, den sie zersetzen, den Sauerstoff aufgebraucht haben, werden sie von den anaëroben Formen abgelöst, die die Zersetzung unter Entwicklung übelriechender Gase als Fäulnis fortsetzen und zu Ende bringen. — Ein anaërobes Bakterium ist auch der bereits erwähnte Zellulosebazillus.

69. Wir wollen jetzt versuchen, die eben besprochenen Forschungsergebnisse in den Wald zu übertragen. — Zunächst wollen wir uns daran gewöhnen, den Begriff Rohhumus nur für die Humusform zu gebrauchen, für den er allein paßt, nämlich für Stoffe, deren Zersetzung erst eingeleitet ist, und die noch mehr oder weniger die Struktur der Organismen zeigen, aus denen sie entstanden sind. Den übrigen Humus wollen wir nach seiner Reaktion sauren oder neutralen nennen.

Saure Reaktion und unvollständigen Abbau erzeugen, wie wir gesehen haben, Fadenpilze, die noch da gedeihen, wo Nässe, geringe Wärme und saure Reaktion des Bodens vorhanden sind. — Solche Standorte sind im Gebirge, in Tieflagen und auf undurchlässigen Bodenstellen von Natur vorhanden; deshalb bilden sich hier auch so leicht Hochmoore aus. — Entwässerungen und tiefe

Bodenbearbeitung, vielleicht mit Kalkbeigabe, werden dann vielleicht helfen, wenn die klimatischen Verhältnisse für die Gärungsbakterien nicht zu ungünstig sind, wie im höheren Gebirge.

Große Mengen von unzersetztem Humus sammeln sich unter Umständen in zu dichten Beständen an und werden hier mit Recht Rohhumus genannt. Wenn wir uns erinnern, daß die Bakterien zu ihrem Gedeihen größere Wärme brauchen, so liegt es nahe, ihnen diese dadurch zukommen zu lassen, daß man den zu dichten Bestand etwas lichter stellt und so den Wärmestrahlen den Zutritt zum Boden erleichtert. — Daß dies Mittel hilft, wissen wir, wir machen ja von ihm im Vorbereitungsschlage mit Erfolg Gebrauch, daß man aber mit dem Lichten auch zu weit gehen kann und die Humuszersetzung dadurch unterbrochen wird, ist erklärlich, wenn man an die Empfindlichkeit der Bakterien gegen zu starkes Licht denkt.

Man spricht so oft von aushagernden Winden und verbindet hiermit in der Regel die Vorstellung, daß die Luft dem Boden etwas entzieht. Es könnte dies ja die Bodenfeuchtigkeit sein, die verloren ginge, aber Aushagerung findet auch statt trotz genügender Bodenfrische. Ich halte es nicht für ausgeschlossen, daß die starke Sauerstoffzufuhr durch den Wind die Humuszersetzung unterbricht oder wenigstens hemmt. Da viele unserer Gärungsbakterien Anaërobionten sind, ist dies sogar sehr wahrscheinlich. — Große Heideflächen, die früher mit Laubholz bestanden waren, sollen ihre Entstehung unvorsichtigen Freistellungen verdanken, und der Kampf ums Dasein zwischen Eichenbeständen und Heidekraut ist in Freilagen, z. B. an der Seeküste, noch heute zu beobachten. Deshalb ist es auch ein großer Fehler bei Neukulturen so dicht an die Eigentumsgrenzen zu pflanzen, daß der natürliche Windmantel, der sich durch die tiefe Beastung der Randbäume bildet, später entfernt werden muß, sobald er dem Nachbarn lästig wird.

Ähnliche Lebensbedingungen wie die Bakterien haben noch andere Lebewesen, denen die Aufgabe zufällt, die grobe Arbeit des Zerkleinerns der Pflanzenabfälle und die Lockerung und Durchmengung des Bodens mit Humus zu verrichten. Es sind dies der große Regenwurm (Lumbricus terrestris) und verschiedene Tiere, von den Insekten bis zu den niedrigsten Tieren, die wir kennen, den Rhizopoden. — Wo diese Tiere fehlen und durch andere weniger zahlreiche und leistungsfähige ersetzt

werden, sind die Bedingungen für die Humuszersetzung ungünstig.

Noch schwerer, als die Bildung des sauren Humus zu verhüten, ist es, seine fehlerhafte Zersetzung zu verbessern und den vollständigen Abbau der organischen Substanz wieder einzuleiten. — Von solchen Versuchen, wie sie jetzt in großer Ausdehnung vorgenommen werden, kann ich mir offengestanden nicht viel versprechen, wenn sie nur auf Probieren beruhen. Dazu ist die ganze Sache doch viel zu kompliziert; denn die fehlerhafte Humusbildung hat nicht eine, sondern sehr viele Ursachen, und nur dadurch, daß wir die Lebensbedingungen der den Humus bildenden Organismen einigermaßen kennen lernen, gewinnen wir Aussicht, die Humusfrage zu lösen. Gearbeitet wird auf dem Gebiete der Gärungsphysiologie viel und exakt, und das Streben nach praktischen Erfolgen hat hier derartig zugenommen, daß wichtige wissenschaftliche Fragen, deren Erledigung möglich wäre, nicht in Angriff genommen werden (Jost S. 259). Sollten sich da nicht Forscher finden, die die Lösung der Humusfrage reizt? Praktische Erfolge müßten natürlich auch entsprechende Belohnung finden; sie könnten es aber auch, denn es handelt sich hier doch um unschätzbare Werte. Daß bisher so wenig auf diesem Gebiete geschehen ist, hat dieselbe Ursache, an der wir noch auf so mannigfachen Gebieten der Forstwirtschaft kranken: wir Forstleute haben zu wenig Fühlung mit den exakten Wissenschaften; und man kann Francè nur recht geben, wenn er sagt, „daß die Humusfrage einer jener Punkte ist, an dem sich die Lebensbedürfnisse mit der abstrakten Wissenschaft die Hand reichen, und wo aus den scheinbar ganz fern liegenden Forschungen unmittelbarer Nutzen für die Allgemeinheit quillt. Das ist in der ganzen Naturwissenschaft so. Deshalb gibt es in ihr nichts Nebensächliches; denn in jedem Moment kann auch das Entfernteste und Abliegendste aktuelle Bedeutung erlangen, in Beziehung zu unseren brennendsten Lebensfragen kommen und für das Bedürfnis des Tages das Allerwichtigste aus der ganzen Naturgeschichte werden“ (R. H. Francè, „Die Entstehung des Humusbodens“. Kosmos 1905, Heft 2, S. 46).

70. Eng an die Humusfrage schließt sich die Stickstofffrage, sie ist eigentlich von ihr untrennbar, weil alle forstlichen Maßnahmen, die eine fehlerhafte Humusbildung herbeiführen, gleich-

zeitig die Nitrifikation, d. h. die Umwandlung des nicht assimilierbaren Luftstickstoffes in für die Pflanze aufnehmbaren, hemmen oder ganz unterbrechen.

Der Stickstoff ist ein ganz unentbehrlicher Pflanzennährstoff, er ist ein wesentlicher Bestandteil des Protoplasmas, der Eiweißkörper und vieler anderer Pflanzenstoffe.

Trotzdem der Stickstoff der Hauptbestandteil der atmosphärischen Luft ist, ist sein Vorkommen in gebundener, für die Pflanze aufnehmbarer Form in der Natur verhältnismäßig beschränkt, weil er eine äußerst geringe chemische Verwandtschaft zum Sauerstoff hat. — Rein anorganische Körper, wie Mineralien, die gebundenen Stickstoff anorganischen Ursprungs enthalten, sind in der Natur sehr selten; sie kommen bei uns überhaupt nicht vor, und ihr Gehalt an gebundenem Stickstoff ist sehr gering. — Fast aller übriger gebundener Stickstoff, auch der des Chilisalpeters, verdankt sein Dasein der Lebenstätigkeit von Pflanzen, ist also organischen Ursprungs; denn der Gewinn an gebundenem Stickstoff, der durch Oxydation bei elektrischen Entladungen entsteht und in Form von salpetriger- und Salpetersäure dem Regen und Schnee beigemengt ist, ist äußerst gering. Er beträgt nach Ad. Mayer im Jahr auf ein Hektar noch nicht einmal ein Kilogramm, während die Pflanzenmenge, die auf einer solchen Fläche wächst, nach Boussingault in dieser Zeit etwa 50 Kilogramm Stickstoff zu ihrem Aufbau braucht.

Wir haben bei Besprechung der Tätigkeit der abbauenden Mikroorganismen erfahren, daß eines der Endprodukte des Abbaues der Eiweißkörper und der diesen verwandten Stoffe Ammoniak ist. Der größte Teil dieses Gases wird wohl vom Boden absorbiert werden, ein Teil aber entweicht in die Luft, von wo aus er an Kohlendioxyd, salpetrige- und Salpetersäure gebunden durch den Regen und Schnee der Erde wieder zugeführt wird. Die Menge dieses Stickstoffes beträgt nach Ad. Mayer für das Jahr und Hektar etwa zwei Kilogramm; der Gesamtstickstoffgewinn aus der Luft beträgt mit dem schon erwähnten einen Kilogramm also drei Kilogramm.

Die grüne Pflanze hat drei Möglichkeiten, sich den gebundenen Stickstoff in der Natur zu verschaffen: sie kann das absorbierte Ammoniak oder die Salpetersäure aus dem Boden durch die Wurzeln aufnehmen, sie kann das gasförmige Ammoniak aus der

Luft durch die Blätter gewinnen, und sie kann durch diese auch die im Regenwasser gelösten Stickstoffverbindungen aufnehmen. Die beiden letzteren Möglichkeiten werden praktisch ziemlich bedeutungslos sein, da die Menge der Stickstoffverbindungen in der Luft zu gering ist. Die grüne Pflanze wird also darauf angewiesen sein, ihren Stickstoffbedarf der Hauptsache nach durch die Wurzeln aus dem Boden zu beziehen.

Von Interesse dürften für uns, die wir ja oft die Aufgabe haben, Ödländereien auszuforsten, einige Zahlen sein, die uns über den Stickstoffgehalt dieser Böden Auskunft geben.

A. Baumann (bei Jost S. 166) fand in unkultivierten Böden in einem Kilogramm Erde:

	Ammoniakstickstoff
Im Lehmboden aus Granit, Fichtelgebirge . .	22,27 mg
Im verwitterten Gneis „ . .	11,05 „
Im „ Porphyr, Rheinpfalz	17,71 „
Im „ Kohlensandstein	4,43 „
Im „ Basalt, Rheinpfalz	23,37 „
Im humusfreien Löß, München	6,58 „
Im Sandboden, Schrobenhausen	2,23 „
Im Moorboden, München	1,60 „

Die Menge des Ammoniaks nimmt übrigens rasch ab, wenn man in die Tiefe des Bodens geht. — Von Salpetersäure wurden auf diesen Böden nur so geringe Spuren gefunden, daß ihre Menge nicht bestimmt werden konnte.

Wenn auch die Pflanze in der Natur stets nur sehr wenig gebundenen Stickstoff im Boden vorfindet und ihr Gedeihen in ihm nur dadurch erklärlich wird, daß sie mit ihren Wurzeln eine große Bodenmasse durchdringt, und daß die durch die Wasseraufnahme verursachten Gleichgewichtsstörungen Wasserströmungen hervorrufen, die sich noch auf größere Entfernungen von den Wurzelenden ab erstrecken, so wird sich uns beim Lesen der vorstehenden Zahlen doch die Überzeugung aufdrängen, daß wir die Kultivierung der uns überwiesenen Flächen, besonders auf Sandboden, nie länger hinausschieben dürfen, als unumgänglich notwendig ist, weil in unkultivierten Böden der Gehalt an Stickstoff um so mehr zurückgeht, je länger sie unbestanden sind. Besonders ungünstig verhalten sich die Sandböden und die aus Sandstein entstandenen.

71. Während Liebig (1840) das Ammoniak als Hauptquelle des pflanzlichen Stickstoffes betrachtete, gebührt Boussingault (1860/61) das Verdienst, die Bedeutung der Salpetersäure für die Ernährung der grünen Pflanze erkannt zu haben. — Nach neueren Versuchen ist zwar dem Ammoniak nicht aller Nährwert abzusprechen, es wirkt bei der Mehrzahl der Pflanzen nur weniger günstig als die Salpetersäure, gestattet ihnen aber doch eine abschließende Entwicklung mit erheblicher Vermehrung der Trockensubstanz. — Gewisse Pflanzen, wie einzelne Gramineen, Kohl- und Zwiebelarten, können ebensogut durch Ammoniak, wie durch Salpetersäureverbindungen (Nitrate) ernährt werden, andere, wie Buchweizen, Kartoffel, Rübe, bevorzugen aber entschieden Nitrate, ebenso unsere Waldbäume.

Von den Nitriten, d. h. den Verbindungen der salpetrigen Säure, wirken stärkere Konzentrationen giftig; schwache werden gierig aufgenommen, aber merkwürdigerweise von den Pflanzen nicht zu Nitraten oxydiert, sondern zu gasförmigem Stickstoff reduziert. Ob eine grüne Pflanze mit Hilfe von Nitriten ihren ganzen Entwicklungsgang vollenden kann, ist noch nicht bekannt.

Wenn nun die grünen Pflanzen ein so verschiedenes Bedürfnis bezüglich der Bindung des Stickstoffes haben, so muß es auffallen, daß sie alle bei einer Düngung mit Stallmist gedeihen, dessen Endprodukt aus der Zersetzung von Pflanzensubstanzen und tierischen Exkrementen, soweit es sich um stickstoffhaltige Verbindungen, wie Eiweißkörper, Harnstoff u. a., handelt, freier Stickstoff und Ammoniak ist.

72. Bei der Eiweißfäulnis wird noch ein anderer wichtiger Stoff in eine für höhere Pflanzen nicht aufnehmbare Verbindung gebracht, nämlich der Schwefel in Schwefelwasserstoff. — Die grüne Pflanze kann den Schwefel nur in seiner höchsten Oxydationsstufe als Schwefelsäure aufnehmen, so wie sie den Kohlenstoff nur als Kohlensäure assimilieren kann. Der freie Stickstoff ist gar nicht und das Ammoniak in den meisten Fällen zur Assimilation nicht so geeignet wie die hochoxydierte Salpetersäure. Würde aller Schwefel, den die Pflanzen zunächst den schwefelsäurehaltigen Verbindungen entnehmen und der durch die Eiweißgärung in Schwefelwasserstoff übergeführt wird, dauernd dem Kreislauf der Natur entzogen, so müßte dies unberechenbare Folgen haben. — Dafür, daß dies nicht geschieht, sorgt nun die

soziale Gesetzgebung in der Natur, indem sie Organismen schuf, die selbst aus diesen Abbauprodukten noch neue Energie schöpfen können: die Sulfo- und Nitrobakterien.

Schwefelwasserstoff ist im Wasser löslich und in dem Wasser, das nur geringe Mengen Schwefelwasserstoff gelöst enthält, leben verschiedene Arten von Bakterien, von denen Beggiatoa wohl die wichtigste ist. Sie verwandelt den Schwefelwasserstoff zunächst in reinen Schwefel, um ihn dann in Schwefelsäure zu oxydieren. Daß aus dieser zweimaligen Oxydation ein erheblicher Energiegewinn fließen muß, ist selbstverständlich. ($H_2S + O = H_2O + S$ und $S + 3O + H_2O = H_2SO_4$.) — Im Mist sind es die Urobakterien, die den Abbau zu Ammoniak bewirken. Das Ammoniak, mag es nun vom Dünger, der Humuszersetzung oder sonst woher stammen, wird im Boden durch Absorption festgehalten und dann allmählich in salpetrige- und Salpetersäure oxydiert, ein Vorgang, den man Nitrifikation nennt. — Ursprünglich hielt man diese Nitrifikation für eine einfache anorganische Oxydation, die Beobachtungen von Schloessing und Muntz (1877—1879) über die Abhängigkeit der Nitrifikation von gewissen äußeren Umständen drängten aber zur Annahme, daß niedere Organismen mitwirken müßten.

Das Verdienst, die Physiologie der Nitrobakterien von Grund auf aufgeklärt zu haben, gebührt Winogradski (1890, 1891), demselben Forscher, dem wir den größten Teil unserer Kenntnis über die Schwefelbakterien verdanken.

Schon als er diese studierte, versagten die Isolierungs- und Kulturmethoden der handwerksmäßigen Bakteriologie vollständig, und er hatte sich deshalb veranlaßt gesehen, nach neuen Methoden zu arbeiten. In ähnlicher Weise gelang es ihm auch die Frage der Nitrifikation zu lösen, deren Resultat darin besteht, daß tatsächlich der Ammoniak erst in Nitrit und dieses in Nitrat oxydiert wird. Dementsprechend sind auch besondere Nitrit- und Nitratbakterien vorhanden.

Der Nitritbildner ist in allen europäischen Ländern anscheinend derselbe, ein ovales, zeitweise bewegliches Bakterium, die Nitratbakterien bilden, soweit sie studiert worden sind, dünne Stäbchen.

Ein weiteres höchst überraschendes Ergebnis der Studien Winogradskis und eine der wichtigsten Entdeckungen auf dem Gebiete der Physiologie war, daß die Nitrobakterien ihren Kohlenstoffbedarf nicht organischen Substanzen entnehmen, sondern

daß sie sich diesen dadurch selbst verschaffen, daß sie mit Hilfe der Energie, die sie durch die Oxydation des Stickstoffes gewinnen, Kohlensäure zerlegen. — Man wird hierdurch unwillkürlich zu dem Gedanken gedrängt, daß die ersten Pflanzen, die auf der Erde lebten, als diese noch ganz in Finsternis gehüllt war, ähnliche Fähigkeiten gehabt haben müssen.

Kulturversuche haben gezeigt, daß sowohl Nitrit- wie Nitratbakterien durch Beigabe organischer Substanz geschädigt werden, und daß eine Nitritbildung erst eintritt, wenn alle organischen Substanzen im Bereich dieser Bakterien durch Gärung abgebaut sind. — Die Bedeutung dieses Verhaltens in der Natur liegt darin, daß viele Gärungserreger die Fähigkeit haben, den Salpeter zu denitrifizieren, also ihn in freien Stickstoff zu verwandeln, so daß er für die grüne Pflanze verloren ist.

Die Wichtigkeit der Nitrobakterien für die Land- und Forstwirtschaft liegt also darin, daß sie das Ammoniak nitrifizieren. — Unseren Waldbäumen wird der aus der Humuszersetzung stammende Stickstoff immer in Form von Ammoniak zugeführt; sie sind aber in ihrem Stickstoffbedarf auf dessen hochoxydierte Form angewiesen und verdanken es allein den Nitrobakterien, daß sie auch aus den stickstoffhaltigen Abbauprodukten der Waldstreu Nutzen ziehen können.

Auf zweierlei muß hier noch aufmerksam gemacht werden. Die Nitrobakterien sind Anaërobionten und können nur gedeihen, wo keine unabgebaute organische Substanz vorhanden ist. — Das sind im Walde die Bodenschichten, die so tief liegen, daß sie schon humusfrei sind Hier — also noch unter der Damerde — kann nur die Nitrifikation des Ammoniaks vor sich gehen. — Aus diesem Grunde hielt ich es für berechtigt anzunehmen, daß die Moellerschen Kulturversuche mit Rohhumusbeimengung nicht des Stickstoffreichtums des Humus wegen günstige Ergebnisse haben, weil dieser nicht groß sein und nur von der noch zu besprechenden Bindung des freien Luftstickstoffes herrühren kann.

Es ist einleuchtend, daß auch nach der Entfernung der Bodenstreu die Nitrifikation im Boden noch einige Zeit lang fortdauern, vielleicht sogar vorübergehend erhöht sein kann, wenn die Zufuhr an den die Nitrifikation hemmenden organischen Substanzen aufhört. Dadurch ist es auch erklärlich, daß die Entfernung der Streu vorübergehend wachstumsfördernd wirken kann, wie ja durch Versuche festgestellt ist; da aber der Stickstoff von den

Abbauprodukten der Waldstreu stammt, so muß deren Entfernung auf die Dauer mit einem erheblichen Stickstoffverlust verbunden sein.

Die Bedeutung der Nitrifikation ist aber nicht nur eine direkte, indem sie assimilierbare Pflanzennährstoffe schafft, sie liegt auch noch indirekt darin, daß die Salpetersäure als eine der stärksten Säuren die Mineralien des Bodens zersetzt und so zur Verwitterung beiträgt. — Nitrobakterien sind die ersten Pflanzen, die sich in den Ritzen nackter kalkhaltiger Gesteine ansiedeln und dort die Spuren von Ammoniak ausnutzen, die ihnen der Regen zuführt. Sie zersetzen den Felsboden, düngen ihn und machen ihn für höhere Pflanzen zugänglich.

73. Als wir uns mit dem Abbau der Humusstoffe und besonders der stickstoffhaltigen beschäftigten, wurde erwähnt, daß ein Teil des gebundenen als freier Stickstoff in die Luft entweicht. Dieser Verlust allein könnte vielleicht durch den Stickstoffgewinn aus der Luft ausgeglichen werden, der, wie wir erfahren haben, 3 kg auf das Jahr und Hektar beträgt. Es ist aber nun festgestellt worden, daß nicht nur durch Gärung gebundener Stickstoff frei wird, sondern daß Organismen vorhanden sind, die regelmäßig denitrifizieren, d. h. gebundenen Stickstoff frei machen, und daß selbst solche Organismen, die normalerweise nitrifiziren, auch unter bestimmten Umständen denitrifizieren. — Diese Fähigkeit könnte für unser Pflanzenleben verhängnisvoll werden, wenn die Natur nicht für Lebewesen gesorgt hätte, die imstande sind, den freien Stickstoff der Luft selbst zu nitrifizieren. — Von diesen wollen wir zunächst die besprechen, die für die Forstwirtschaft die wichtigsten sind.

Nachdem Berthelot (1892) bereits festgestellt hatte, daß die Stickstoffbindung im Boden eine Leistung von Bakterien sein müsse, war es wieder S. Winogradski (1895), der durch besondere Kulturmethoden den Beweis führen konnte, daß es ein Clostridium, d. h. ein Bakterium, das bei der Sporenbildung spindelförmig anschwillt, ist, das die Stickstoffbindung bewirkt.

Uns interessiert hier nur, daß dieses Bakterium, das Clostridium Pasteurianum heißt, anaërob ist und deshalb in der Natur nur mit zwei Fadenbakterien zusammen vorkommt, die an der Stickstoffbindung vollständig unbeteiligt, nur die Rolle zu spielen haben, den Sauerstoff in der gallertartigen Kolonie — der sog. Zooglöa —, die sie mit dem Clostridium zusammen bilden, zu

veratmen. — Das Clostridium Pasteurianum ist außerdem ein Gärungserreger: es vergärt verschiedene Zuckerarten und einige Kohlenhydrate, kann aber Stärke, Zellulose, Milchzucker und höhere Alkohole nicht ausnutzen. — Die Gärung dient ihm als Energiequelle für die Stickstoffbindung, und Winogradski konnte ganz bestimmte zahlenmäßige Beziehungen zwischen Zuckerverbrauch und Stickstoffgewinn feststellen.

Es fragt sich nun, wo bekommt das Clostridium Pasteurianum im Walde den Zucker her? — Es ist festgestellt worden, daß in der Oberfläche solcher Böden, in denen die Stickstoffbindung besonders reichlich war, zahlreiche Algen vorhanden waren, und hieraus schließt man, daß zwischen Algen und Clostridium ein gemeinschaftliches Verhältnis besteht, und daß beide aus diesem Zusammenleben Nutzen haben, oder daß wenigstens nicht einer von beiden einseitig davon Nutzen zieht. — Die Algen empfangen vom Clostridium gebundenen Stickstoff, und dieses wieder von den Algen lösliche Kohlenhydrate. — Man nennt eine solche Pflanzengenossenschaft Symbiose.

Wie groß diese Stickstoffanreicherung des Bodens sein kann, beweist ein Versuch Kuehns, der auf einem bestimmten Felde 20 Jahre lang ohne Stickstoffdüngung Winterroggen bei steigenden Ernten bauen konnte.

74. Es bleibt uns noch übrig, aus dem soeben Mitgeteilten Schlüsse für die Praxis zu ziehen. — Dies ist sehr einfach, wenn wir uns an das erinnern, was wir über die Bakterien bei der Humuszersetzung gesagt haben.

Chlostridium Pasteurianum und die beiden Fadenbakterien sind Bakterien und deshalb empfindlich gegen kurzwellige Lichtstrahlen. Außerdem beanspruchen sie nicht zu niedrige Temperaturen, lieben keine zu große Feuchtigkeit und gedeihen nicht bei saurer Reaktion des Substrates. Der saure Humus ist also nicht das Gebiet, auf dem sie sich wohl fühlen. — Die Algen, mit denen sie symbiotisch leben, sind grüne Pflanzen, brauchen also zur Kohlenstoffassimilation eine gewisse Menge langwelliger Lichtstrahlen. Eine bestimmte minimale Helligkeit wird also auf dem Boden des Bestandes vorhanden sein müssen, damit die Algen gedeihen können; eine gewisse maximale Helligkeit darf aber nicht überschritten werden, weil dann die Bakterien Schaden leiden. Wo das Optimum liegt, wird noch festzustellen sein. —

Da das Clostridium ein Anaërobiont ist, so gilt für dieses Bakterium dasselbe, was hierüber schon beim Humus gesagt worden ist.

Wenn man nun von tätigen und untätigen Böden spricht, so begeht man insofern einen Irrtum, als nicht der Boden tätig ist, sondern die verschiedenartigsten Lebewesen in ihm, auf deren Gedeihen wir aber einen wohltätigen Einfluß ausüben können und müssen.

Man hat versucht, die Stickstoffbindung durch Mikroorganismen in der Weise zu ermitteln, daß man Blätter von Bäumen im Herbste pflückte und sie in Kästen ins Freie stellte. Daß derartige Versuche negative Ergebnisse haben mußten, ist nach dem, was wir über die Lebensbedingungen der Bakterien wissen, selbstverständlich. Die Säure der frischen Blätter, die mangelnde Wärme usw. mußten ihr und der Algen Gedeihen unmöglich machen.

Daß das Unterholz und die unterdrückten Stämme im Bestande, auf deren Wert hier schon wiederholt hingewiesen worden ist, auch dazu beitragen können, für die Stickstoffbindung günstige Bedingungen zu schaffen, braucht wohl nicht besonders hervorgehoben zu werden. — Es ist eine eigentümliche Erscheinung, daß es gerade Diejenigen sind, die aus volkswirtschaftlichen Gründen möglichst starke Durchforstungen, Lichtungshiebe, Schnellwuchswirtschaft usw. empfehlen, die gegen die im Pflanzenleben bestehenden sozialen Gesetze am schwersten sündigen wollen. Sollten sie nicht auch noch einmal zur Einsicht kommen, daß diese Gesetze, die sich im Laufe von ungezählten Jahrtausenden als zweckmäßig erwiesen haben, nicht ungestraft übertreten werden dürfen? Waldbauliche Fragen wird niemand durch mathematische Formeln lösen, selbst wenn die Zahl der unbekannten Größen noch viel kleiner werden sollte, als sie es jetzt ist.

Wir wollen uns jetzt noch das, was wir über die Humus- und Stickstoffbakterien erfahren haben, an einigen Fällen aus der Praxis klarmachen.

Nehmen wir an, ein Buchenbestand solle im Laufe der nächsten Jahrzehnte natürlich verjüngt werden. Er ist dicht geschlossen und es haben sich auf dem Boden größere Humusmassen angesammelt. Wir beginnen also mit einer Durchforstung, bei der wir aber die unterständigen Stämme noch möglichst schonen. Dadurch erreichen wir außer einer besseren Kronenentwicklung einen größeren Einfall von Licht- und Wärmestrahlen unter dem Schutze der unterdrückten Stämme, die nur einen Teil

des Lichtes durchlassen, den anderen entweder zur Assimilation verbrauchen oder ihn nach oben und den Seiten hin zerstreut zurückwerfen. Die Humusbakterien entfalten unter den für sie so günstig gewordenen Bedingungen eine erhöhte Tätigkeit, und die Endprodukte der Humusgärung gelangen als Kohlendioxyd, Ammoniak usw. in den Boden. Das Kohlendioxyd ergänzt sich durch Wasseraufnahme zu Kohlensäure und ist in diesem Zustande direkt assimilierbar; das Ammoniak wird absorbiert und im humusfreien Mineralboden von den Nitrit- und Nitratbakterien nitrifiziert.

Im oberen Teile des Humus gedeihen unter den günstigen Lichtverhältnissen in Genossenschaft grüne Algen mit Clostridium und den zugehörigen Fadenbakterien. Sie nitrifizieren den Stickstoff der Luft, und die durch sie geschaffenen Nitrate werden zum größten Teile durch das Regenwasser in den Boden gewaschen, da die Salpetersäure vom Humus nicht absorbiert wird. Ein Teil dieser Salpetersäure wird allerdings den Gärungserregern im Humus zum Opfer fallen, die sie denitrifizieren. Das bedeutet zwar einen Stickstoffverlust, der aber durch die Wachstumsförderung dieser Pilze wieder etwas ausgeglichen wird. — Inzwischen ist der Zeitpunkt der Verjüngung näher gerückt, und die nächsten Samenjahre sollen benutzt werden. Es wird deshalb ein Vorbereitungshieb eingelegt, der so gestellt werden muß, daß eine möglichst rasche Humuszersetzung stattfindet. Wir wissen, daß einerseits die erhöhte Wirkung der kurzwelligen Strahlen als Reiz zur Entfaltung der Blütenknospen wirkt, daß aber vor allen Dingen der Wechsel in der Ernährung einen starken Reiz auf die Ausbildung von Fortpflanzungsorganen ausübt.

Die Humuszersetzung muß rasch sein, die Nährstoffzufuhr muß steigen, um darauf möglichst zu sinken, weil die Fortpflanzung mit um so größerer Intensität eintritt, je besser die Ernährung der vegetativen Teile vorher gewesen ist (cf. S. 79). Sobald dann die Witterungsverhältnisse günstig sind, wird reiche Mast eintreten. — Die günstigsten Aussichten, einen Bestand natürlich zu verjüngen, hat man also dann, wenn man die Verjüngung nicht zu allmählich vorbereitet. Man muß den Bestand vor der Verjüngung wieder zu stärkerem Schluß zusammenwachsen lassen, um auf dem Boden ein Nährstoffkapital anzusammeln, das man zur gegebenen Zeit beweglich machen kann. — Hieraus erklärt es sich auch, daß die Verjüngung meist sehr schwierig wird, wenn das erste Samenjahr ohne den gewünschten Erfolg gewesen ist.

Es ist ziemlich allgemein die Ansicht verbreitet, daß in früheren Zeiten die Samenjahre häufiger gewesen sind als jetzt. Das kann nicht am Klima gelegen haben, denn das hat sich nachweislich nicht so ungünstig verändert; der Grund liegt vielmehr in unserer Wirtschaft, in den starken ununterbrochenen Durchforstungen vor der Verjüngung. —

Ist volle Besamung eingetreten, dann ist der Boden bald wieder gedeckt. Humusbildung und Zersetzung sowie Nitrifikation funktionieren wieder normal, und die vorübergehende Schröpfung des Bodens ist bald ausgeglichen.

Anders, wenn die Verjüngung ganz oder teilweise ausbleibt. Dann kann der Ernährungsreiz nur durch besonders günstige Witterungsverhältnisse eines Sommers ausgeübt werden, und da er natürlich nicht groß sein kann, wird die Mast in einem solchen Buchenbestande nicht sehr voll werden.

Interessante Zahlen über die Häufigkeit der Samenjahre in früheren Zeiten findet man in den technischen Instruktionen in Auseinandersetzungssachen. Nach der mir zufällig vorliegenden für den Bezirk der Generalkommission zu Breslau (1846) hängt die Fruchtbarkeit der Masthölzer von der Güte des Bodens ab, da auf gutem Boden öfter und auch reichlichere Mastnutzung eintritt als auf mittelmäßigen und schlechtem, und zwar auf gutem Boden etwa alle 6 Jahre eine volle, eine halbe und eine Viertelmast, auf schlechtem aber nur alle 8—9 Jahre eine volle, eine halbe und eine Viertelmast. — Es ist demnach auf gutem Boden jedes zweite, auf schlechtem jedes dritte Jahr ein Mastjahr gewesen, wenn auch die Menge der produzierten Mast verschieden gewesen ist. Wenn also die Bodengüte einen so wesentlichen Einfluß auf die Häufigkeit der Mastjahre hat, dann dürfen wir uns auch nicht wundern, daß zu unserer Zeit, in der man von der Bodenpflege mehr spricht, als man für sie tut, das Eintreten der Mast immer seltener wird.

Der Gegensatz der Naturverjüngung ist der Kahlschlag. Nach alledem, was wir über die Humus- und Stickstoffbakterien wissen, müssen wir sagen: Kahlschlag ist gleichbedeutend mit Stickstoffmord im Boden. — Sollen wir nun deshalb von ihm abgehen, weil er naturwidrig ist?

So viel physiologische Erwägungen auch gegen den Kahlschlag und für die Naturverjüngungen sprechen, so schwerwiegend sind auch andrerseits die Gründe, die sich uns für den Kahlschlag aufdrängen. — Es ist mit dem Walde ähnlich wie mit den

Menschen. Ein Teil der Kinder wird in der frühsten Jugend natürlich ernährt, ein Teil mit der Flasche. Wie beide zu kräftigen Menschen heranwachsen können, so ist eine Kultur auf dem Kahlschlage auch nicht prädestiniert, einen schwächlichen Bestand zu geben, wenn sie nur später entsprechend behandelt wird. — So wie viele Mütter nicht mehr die Fähigkeit haben, ihre Kinder selbst zu nähren, andere zu bequem dazu sind und die Mehrzahl keine Zeit dazu hat, so sind auch nicht alle Bestände geeignet, natürlich verjüngt zu werden; in anderen Fällen ist der Wirtschafter zu bequem dazu oder versteht es überhaupt nicht: der Hauptgrund aber, der für den Kahlschlag spricht, ist der, daß wir keine Zeit mehr haben, auf die natürliche Verjüngung zu warten. — Zeit ist Geld, und die Geldfrage steht jetzt auch in der Forstwirtschaft obenan.

Wir müssen also mit den gegebenen Verhältnissen rechnen und uns fragen, was können wir tun, um die Nachteile des Kahlschlages möglichst einzuschränken. Diese Frage ist nicht leicht zu beantworten, die Übersetzung der Antwort in die Praxis aber noch viel schwieriger. — Bei der Naturverjüngung kann man durch richtige Schlagstellung für einen entsprechenden Abbau der Humusstoffe sorgen, ohne hierdurch die Gefahr der Verunkrautung des Bodens heraufzubeschwören, man kann also hier das angesammelte Humuskapital durch den Altbestand noch nutzen; beim Kahlschlage ist dies ausgeschlossen. Hier schützt gerade der unzersetzte Humus am besten gegen Unkrautwuchs. Man kann aber nach Moellers Rat wenigstens einen Teil dieses Rohhumus der jungen Generation zugute kommen lassen. Der Mineralboden unter dem Humus ist zwar noch reich an nitrifiziertem Stickstoff, dieser ist aber leicht auswaschbar, weil die Salpetersäure von keiner Bodenart durch Absorption festgehalten wird.

Alle Lichtungen, Schwammbaumaushiebe und sonstigen Maßregeln im Altbestande, die dazu führen, daß vor dem Kahlschlage eine starke Humuszersetzung stattfindet, sind also aus physiologischen Gründen nachteilig. Zu den schädlichsten Maßregeln sind aber Kulissen- und Löcherhiebe und lange Schlagruhen zu rechnen, unter denen auch der benachbarte Altbestand zu leiden hat. Wenn es Holzabfuhr, Insektengefahr und die sonstigen Umstände erlauben, muß die Kultur in dem dem Hiebe unmittelbar folgenden Frühjahr ausgeführt werden, weil dann noch reichliche Nährstoffe im Boden sind und die Unkrautgefahr gering ist. —

Aus diesen und vielen anderen Gründen sind schmale Schläge den breiten vorzuziehen, weil sie früher geräumt sind und nötigenfalls das Holz in den Altbestand gerückt werden kann. Daß eine Hiebsrichtung gegen die Sonne dem Boden des Altbestandes zuträglicher sein muß als umgekehrt, braucht wohl nicht besonders hervorgehoben zu werden.

Daß die Kulturen, die dem Hiebe unmittelbar folgen, am besten gedeihen, wird wohl von vielen Seiten bestätigt werden können; nach meinen Erfahrungen trifft es wenigstens zu. Leider ist es verhältnismäßig selten möglich, so früh zu kultivieren. — Geradezu auffallende Erfolge habe ich viele Jahre hindurch in der Oberförsterei Cladow bei der Erziehung ein- und zweijähriger Kiefern gesehen, die sich auf frisch gehauenen Vorverjüngungslöchern zu äußerst kräftigen Pflanzen entwickelten und dort nie unter Schütte litten.

Wie die Kultur nun ausgeführt wird oder der gegebenen Verhältnisse wegen ausgeführt werden muß, ist weniger von Bedeutung, als daß das Ziel möglichst schnell erreicht wird, durch den jungen Bestand den Boden zu decken, weil erst von diesem Zeitpunkte ab Humusbildung und Zersetzung sowie Nitrifikation in normaler Weise einsetzen. — Daß wir dies Ziel auch im großen Betriebe ohne künstliche Düngung erreichen können, lehrt die Erfahrung.

Der Gesichtspunkt, möglichst schnelle Bodendeckung zu erzielen, muß auch maßgebend für die Wahl des Verbandes sein. — Ein besonders in die Augen fallendes Beispiel, wie sehr die Bodendeckung den Wuchs fördert, gibt uns die Douglastanne, die so lange kümmert, als sie einzeln steht, aber mächtig zu treiben anfängt, sobald sich die benachbarten Stämme mit den Zweigen zusammengeschlossen haben.

Je länger der Boden freiliegt, um so schlechter wird er. Deshalb werden die Nachbesserungen auch um so schwieriger, je länger die Zeit ist, die seit dem Abtriebe des Altbestandes vergangen ist. Größere Lücken im Bestande haben ähnliche ungünstige Bodenverhältnisse. Aus diesem Grunde ist es auch verfehlt, auf ihnen Kämpe anzulegen, wie dies häufig aus unangebrachten Sparsamkeitsrücksichten geschieht. Der beste Boden für einen Kamp ist immer der, auf dem eine normale Humusbildung stattgefunden hat, der sich also unter vollem, aber nicht zu dichtem Schlusse befunden hat.

Bei der weiteren Behandlung der jungen und älteren Bestände werden wir nicht vergessen dürfen, daß die indizierte Helligkeit auf dem Boden im Quadrat zunimmt, wenn die Baumhöhe einfach abnimmt, daß wir also einen Bestand um so dichter im Schluß halten müssen, je geringer die Baumhöhe noch ist; denn Humus- und Stickstofffragen sind ausgesprochene Lichtfragen.

Nachdem Winogradski durch seine bahnbrechenden Untersuchungen den Beweis der Bindung des freien Luftstickstoffes erbracht hatte, wäre es eigentlich wunderbar gewesen, wenn nicht sofort die Jagd nach anderen Stickstoffbindern begonnen hätte. — Tatsächlich glaubte man auch einer ganzen Reihe von niederen Pflanzen diese Fähigkeit zuschreiben zu können; alle diese Hoffnungen haben sich aber bis jetzt als trügerisch erwiesen, und nur bei Clostridium Pasteurianum und diesem nahestehenden Arten kann der exakte Beweis der Stickstoffbindung geführt werden. — Für uns wäre dies gleichgültig, wenn wir es nicht eben deshalb, weil wir meist auf sehr dürftigem Boden wirtschaften, als besonders angenehm empfinden müßten, wenn uns die Möglichkeit gegeben würde, durch Bodenimpfung den Stickstoffgehalt zu vermehren. Tatsächlich werden unter dem Namen „Alinit" Reinkulturen eines Bacillus Ellenbachensis verkauft, die die Fähigkeit haben sollen, den freien Stickstoff der Luft zu binden. Genaue Untersuchungen haben aber durchweg gezeigt, daß dieser Pilz die behauptete Fähigkeit nicht besitzt (Jost S. 285). Es muß deshalb vor diesem und ähnlichen Präparaten gewarnt werden.

75. Eine der bekanntesten Arten der Bindung des freien Luftstickstoffes, von der auch im forstlichen Betriebe durch die sog. Gründüngung häufig Gebrauch gemacht wird, ist die in den Wurzelknöllchen der Leguminosen vor sich gehende. Die bodenverbessernden Eigenschaften dieser Pflanzen waren schon im Altertume bekannt; scharf erfaßt wurden sie aber erst von Schultz-Lupitz (1881, bei Jost S. 286). Nach dem Ergebnis der neueren Forschung dringen bewegliche Stäbchen einiger als Bacterium radicola zusammengefaßter Bakterien in die Wurzeln der Leguminosen und vermehren sich da sehr stark. Ähnlich wie die Gallwespen üben sie einen Reiz aus und veranlassen die Bildung von Bakteriengallen, die wir als die sog. Wurzelknöllchen kennen. Ein Teil dieser Bakterien degeneriert in eigentümlicher Weise, indem er große kuglige oder verzweigte, sehr eiweißreiche In-

volutionsformen annimmt, die Bakteroiden genannt werden. Diese Bakteroiden werden von den Leguminosen als Eiweißspeicher behandelt, aufgezehrt und zur Fruchtbildung verwendet. Ein anderer Teil dieser Bakterien behält seine ursprüngliche Form bei, gelangt nach dem Zugrundegehen der Knöllchen in die Erde und kann im nächsten Jahre neue Leguminosen anstecken. — Diese Bakterien leben also gleichfalls in Symbiose mit den Leguminosen; sie beziehen von ihnen Kohlehydrate und geben ihnen dafür die Eiweißreserven. Dafür, daß eine Bindung des freien Luftstickstoffes in den Knöllchen stattfindet, sind direkte Beweise vorhanden (Jost S. 288).

Wesentlich für uns, die wir die Gründüngung oft weitab von bebauten Feldern anwenden, ist zu wissen, daß die verschiedenen Leguminosenarten nur mit spezifischen Bakterien in Symbiose leben und ohne diese keine Knöllchen bilden können. Wenn man demnach auf einer Fläche im Walde, die noch keine Lupinen getragen hat, solche zur Gründüngung bauen will, muß man auf sie etwas Erde von einer früheren Lupinenfläche bringen.

Ähnliche Knöllchenbildungen wie bei den Leguminosen finden wir bei den Erlen, und zwar bei Schwarz- und Weißerle. Zunächst hielt man die Knollen, die eine bedeutende Größe erreichen können, für Pilzgallen, und Woronin glaubte, daß sie einem Parasiten, den er Schinzia alni nannte, ihre Entstehung verdankten. Nachdem man noch verschiedene andere parasitische Pilze zu erkennen geglaubt hatte, kam man zu dem Schlusse, daß die angeblichen Pilze Protoplasmakörper der Baumwurzeln seien, die als Organe für transitorische Eiweißaufspeicherungen funktionieren, und deren spezifische Speicherungsorgane eben die Wurzelanschwellungen bilden. — Nachdem für die Leguminosen festgestellt war, daß die Knöllchenbildung an den Wurzeln durch Mikroorganismen verursacht werde, lag die Annahme nahe, daß bei den Erlen ähnliche Verhältnisse vorliegen, und Hiltner hat auch experimentell festgestellt, daß die Erlen ohne Knöllchen nur bei Zugabe von Stickstoffverbindungen wuchsen, während sie nach Ausbildung der Knöllchen mit dem Luftstickstoff auskommen. Es ist wohl allgemein bekannt, daß die Knöllchen an den Erlenwurzeln, die schon durch ihre eigentümliche rote Farbe auffallen, unter Umständen eine beträchtliche Größe erreichen können, so daß man eigentlich von Knollen sprechen müßte. Auffallend sind die großen Eiweißreserven, die man in der Vegetationszeit in ihnen

findet; jedenfalls leidet eine Erle, deren Wurzeln mit Knöllchen besetzt sind, nicht an Stickstoffmangel, und aus diesem Grunde ist es auch üblich, Erlenkämpe mit Chilisalpeter zu düngen. — Von Wichtigkeit wird es auch hier sein festzustellen, ob die aus Samen in neu angelegten Kämpen gezogenen Erlenpflanzen auch Knöllchen bilden, da bei Erlen wie bei den Leguminosen spezifische Bakterien zur Stickstoffbindung erforderlich zu sein scheinen. Der Mißerfolg mancher Erlenkultur auf Boden, der noch keine Erlen getragen hat, kann zum Teil davon herrühren, daß die Erlen ohne die Gemeinschaft stickstoffbindender Bakterien wachsen müssen. Es wird sich deshalb empfehlen, Saaterlen nur in solchen Kämpen zu erziehen, in denen die Knöllchenbildung erfahrungsmäßig stattfindet. Hat man solche nicht, dann bezieht man besser die ersten knöllchentragenden Kleinpflanzen zum Verschulen von außerhalb.

Ich möchte es nicht unterlassen, hier noch eine Holzart zu erwähnen, auf die man früher einmal große Hoffnungen gesetzt hatte, und die man, weil diese Hoffnungen sich nicht in dem erwarteten Maße erfüllten, ungerecht verurteilt hat. Ich meine die Weißerle. Das Holz ist ja nicht viel wert, aber gerade ihre Fähigkeit, den Luftstickstoff zu binden, macht sie wertvoll für uns, zumal sie nicht sehr erhebliche Ansprüche an die Bodenfeuchtigkeit macht. Ihre Bedeutung liegt eben nur in ihrer bodenverbessernden Eigenschaft, die sie mit der Schwarzerle gemein hat. Deshalb schätzte sie auch Burckhardt so hoch (Säen und Pflanzen 1880, S. 212), der sie als unvergleichlich zur Bestockung von Steingeröll und als Not- und Hilfsholz bezeichnet, das für viele Fälle aushelfen muß. Er empfiehlt sie ferner als Kulturmittel in vielerlei Fällen, namentlich als eine vorzügliche Holzart zum Füllen und Treiben von Laubholzpflanzungen, und erwähnt die günstigen Erfahrungen, die man in der Schweiz mit ihr bei Aufforstungen gemacht hat. Wie ich aus Zeitungen entnehme, hat sie diesen guten Ruf dort auch heut noch nicht eingebüßt. Auch bei Aufforstungen von Muschelkalkhängen im Ohmgebirge soll sie sich vorzüglich bewährt haben: sie wird hier geradezu als Pionier für den Wald bezeichnet. — Wenn die Weißerle jetzt im allgemeinen nur noch wenig Beachtung findet, dann kann das zum Teil daran liegen, daß man Pflanzen ohne Knöllchen auf Standorte gebracht hat, auf denen sie ihr spezifisches Bacterium radicola nicht vorfanden. Hier konnte sie natürlich keinen

Luftstickstoff binden und mußte sogar mit den Holzarten, mit denen sie als Treibholz nützen sollte, in Konkurrenz treten. — Seitdem man den Begriff „Wurzelkonkurrenz" in den forstlichen Wortschatz aufgenommen hat, scheint man übrigens von der Anwendung des Treibholzes sehr zurückgekommen zu sein.

Daß man die Bedeutung der Wurzelkonkurrenz in forstlichen Kreisen bedeutend überschätzt und ihr viele Wirkungen zuschiebt, für die man andere Ursachen verantwortlich machen müßte, ist hier bereits früher erwähnt worden.

Jedes Treibholz muß dadurch nützlich sein, daß es den Boden deckt, die unterbrochene Humusbildung und -zersetzung wieder einleitet und die Stickstoffbindung ermöglicht. Das Treibholz kann nur dann schaden, wenn es zu dicht wird oder die Kronen der Holzarten, die es schützen soll, beeinträchtigt. Das kann man aber leicht verhüten.

76. Es bleiben noch zwei Formen der Symbiose höherer Pflanzen zu besprechen, denen man zuerst einen großen Wert beilegte, deren Bedeutung aber jetzt wieder recht zweifelhaft geworden ist, nämlich die sog. Mykorhiza. Man unterscheidet eine in den Wurzeln lebende endotrophe und eine äußerliche, die Wurzeln nur umspinnende ektrotrophe Mykorhizaform.

Die endotrophe Form interessiert uns weniger, weil sie bei unseren europäischen Waldbäumen nicht vorkommt, obwohl erwiesen ist, daß die ausländische Konifere, an der sie sich findet, der Podokarpus (eine Taxinee), durch sie befähigt ist, atmosphärischen Stickstoff zu binden.

Bekannt und sehr verbreitet ist die ektrotrophe Mikorhiza bei unseren Kupuliferen, Salecineen, Betulaceen und Koniferen. Während die Wurzeln dieser Bäume im Samen und in dem ersten Keimstadium pilzfrei sind, tritt allmählich vom Erdboden aus eine Verpilzung der Wurzeln ein, indem sich zuerst an einzelnen Punkten der Wurzeloberhaut Pilzfäden ansetzen, die Zweige entwickeln, die auf den Wurzeln weiterkriechen und mit dieser und untereinander in Verband treten, so daß sich zuletzt ein lückenloser Pilzmantel um die Wurzel bildet, die sog. Mykorhiza. Während nun die Saugwurzeln der Pflanzen, die in pilzfreiem Boden keimen, dünner und weniger verzweigt sind, größeres Längenwachstum haben und zahlreiche Wurzelhaare ausbilden, verhalten sich die Wurzeln mit Pilzscheiden gerade umgekehrt.

Die Pilzfäden stammen von großen Agaricineen und Tuberaceen, und es bleibt die Frage zu lösen, welchen gegenseitigen Vorteil die höheren Pflanzen und die Pilze aus diesem eigentümlichen Zusammenleben ziehen, zumal nachgewiesen ist, daß dieselben Bäume ohne Mykorhiza ebensogut gedeihen konnten. Hier würden nur planvolle Experimente Aufklärung bringen können; jedenfalls scheint schon jetzt die von Frank herrührende Hypothese, daß der Pilz der Mykorhiza dem Baume außerdem noch organische, direkt dem Humus und den verwesenden Pflanzenresten entnommene Stoffe übermittle, hinfällig.

Eine eigentümliche Erscheinung könnte man vielleicht mit Hilfe der Mykorhiza erklären, nämlich das oft auffallend gute Wachstum einzeln eingesprengter Eichen oder sonstiger Laubhölzer im Kiefernbestande auf Standorten, die für Eiche viel zu schwach sind. — Dieses gute Gedeihen der Eiche ist insofern vielfach verhängnisvoll geworden, weil man daraus den Schluß zog, der Boden sei wirklich fähig, Eichen zu tragen, und deshalb den Bestand durch Löcherhiebe ruinierte, während der Erfolg beim reinen Eichenanbau natürlich ausbleiben mußte. — Man könnte — ich betone dies Wort ausdrücklich — annehmen, daß die Eiche durch ihre starke Transpiration aus dem Pilzgewebe eines größeren Bodenraumes mehr Nährstofflösungen aufsaugt, als ihr eigentlich von Rechts wegen zukäme. Undenkbar wäre das nicht, obwohl es sich wohl schwer würde beweisen lassen. Vielleicht dient dieser Hinweis aber als Warnung, aus dem Gedeihen eines oder weniger Stämme allgemeine Schlüsse auf den Boden des ganzen Bestandes zu ziehen.

77. Wir haben unsere Betrachtungen mit der Energie begonnen, die uns die Sonne zusendet, wir haben die verschiedenen Formen kennen gelernt, in denen sie sich äußert, wir haben uns mit dem Kreislauf beschäftigt, dem Kohlen- und Stickstoff in der Natur unterworfen sind, und wollen nun mit dem schließen, in dem die Bäume unseres Waldes wurzeln, dem Mineralboden.

Daß die Pflanzen verschiedene Stoffe aus dem Boden entnehmen, war schon sehr lange bekannt, und daß nicht jede Pflanze auf jedem Boden wächst, wußte man schon im Altertume. — Wenn auch die Beschaffenheit des Bodens nicht allein maßgebend für das Gedeihen der Pflanzen ist, sondern dieses von ihrem Standort, worunter wir mit Jost (S. 475) „die Summe aller äußeren

Einflüsse" bezeichnen wollen, abhängig ist, so ist doch gerade der Boden ein so wesentlicher Faktor und seine größere oder geringere Güte oft so entscheidend für den Erfolg des Pflanzenbaues, daß man sich in der Regel zunächst darüber klar werden muß, ob er auch den Ansprüchen einer Pflanze genügt, ehe man mit ihrer Kultur beginnen darf.

Physik und Chemie teilen sich in die Aufgabe, uns über den Boden Aufschluß zu geben; wir haben aber gesehen, daß die Kenntnis dieser beiden Wissenszweige zur sog. Bodenkunde nicht ausreicht, und daß wenigstens noch die Pflanzenphysiologie hinzutreten muß, damit ein abgeschlossenes Ganzes zustande kommt. — Die einseitige Behandlung der forstlichen Bodenkunde nach irgendeiner Richtung hin muß dementsprechend immer zu einseitigen Ergebnissen führen, und jeder Einseitigkeit haftet ein mehr oder minder fühlbarer Mangel an.

Es ist nicht Zweck dieser Schrift irgendein Gebiet des Pflanzenlebens erschöpfend zu behandeln; im Gegenteil hat sich Verfasser die Aufgabe gestellt, gerade das in erster Linie zum Gegenstand seiner Studien zu machen, was bisher in vielen Handbüchern weniger Beachtung gefunden hat, und nur so weit es zum Verständnis notwendig war, ist auf Lehrbücher zurückgegriffen worden. Daß dabei wichtige Dinge nur flüchtig berührt werden konnten oder ganz übergangen werden mußten, während oft unwesentlicheren ein breiter Raum gewährt wurde, mag vielleicht als Mangel empfunden werden; dieser wird aber mehr oder weniger allen „Studien" anhaften, die, wie diese, äußeren Anregungen aus der Praxis ihre Entstehung verdanken. — Nach diesen Gesichtspunkten bitte ich dieses letzte Kapitel dieser Schrift zu beurteilen.

Die größere oder geringere Fruchtbarkeit eines Bodens hängt der Hauptsache nach von seiner physikalischen und chemischen Beschaffenheit ab. — Der Pflanze dient der Boden zunächst als Mittel, in dem die Wurzeln einen festen Halt finden sollen, und schon aus diesem Grunde muß der Boden bis zu einer nach der Art der Pflanzen allerdings verschiedenen Tiefe für die Wurzeln durchdringbar sein. Da es aber nicht der Hauptzweck der Wurzeln ist, der Pflanze im Boden einen festen Halt zu verschaffen und die eben entstandenen Wurzeln, wie wir wissen, zunächst der Nahrungsaufnahme dienen, so sind für ihre Ausbreitung im Boden nicht nur mechanische Widerstände maßgebend, die ihr Eindringen erschweren, sondern der Boden muß noch gewisse Nährstoffe ent-

halten. — Da, wie wir wissen, der Sauerstoffbedarf der Wurzeln sehr bedeutend ist und die Sauerstoffzufuhr auch von der Art der Lagerung des Bodens abhängig ist, so wird eine gewisse Struktur des Bodens, die man Krümelung nennt, zu den Wachstumsbedingungen der Wurzeln gehören. — Von diesen Gesichtspunkten muß man sich also leiten lassen, wenn man einen Boden als tief-, mittel- oder flachgründig bezeichnen will.

Auf verschiedene andere Umstände, die die Fruchtbarkeit eines Bodens beeinflussen, ist schon früher hingewiesen worden. Wichtig, im Walde oft am wichtigsten ist die Bodenfrische. Auf sie kommt es unter Umständen noch mehr an als auf den Gehalt an Nährstoffen; denn diese können nichts nutzen, wenn sie nicht im Bodenwasser gelöst der Pflanze zugänglich gemacht werden. — Maßgebend für die größere oder geringere Bodenfrische sind nicht nur die Größe der atmosphärischen Niederschläge, sondern auch die Bodenausformung, der Untergrund und die Wasserkapazität des Bodens selbst. — Beeinflussen können wir sie durch Entwässerungen und durch die verschiedene Art der Bestandsbehandlung. — Trockener Boden ist immer weniger fruchtbar als frischer oder feuchter. Da die Ansprüche der verschiedenen Holzarten an die Bodenfrische aber von ihrer Wurzelbildung und der Größe ihrer Transpiration abhängig sind, so kann natürlich ein Boden für die eine Holzart noch als vorzüglich gelten, während er einer anderen nur noch kümmerliche Existenzbedingungen gewährt.

Zu den physikalischen Bedingungen, die die Feuchtigkeit eines Bodens beeinflussen, gehört auch die Wärme. Bei gleichen klimatischen Verhältnissen ist die Temperatur des Bodens in gewissem Maße von dessen Wassergehalt, von der Holzart, mit der er bestanden ist, von der Höhe und dem Schlusse des Bestandes und von der Zusammensetzung des Bodens selbst abhängig. — Nach Wollny (bei Jost S. 122) sollen Quarzböden am schnellsten, langsamer Ton-, dann Kalk- und Magnesia und schließlich am langsamsten die Humusböden dem Gange der Lufttemperatur folgen.

78. Außer dem Fehlen wichtiger physikalischer Bedingungen spielt natürlich auch die chemische Zusammensetzung des Bodens eine große Rolle. — Entweder können im Boden Stoffe fehlen oder zu dürftig vorhanden sein, um den Ansprüchen der Pflanzen zu genügen, oder es sind in ihm solche enthalten, die das Ge-

deihen gewisser Pflanzen ausschließen. Erwähnt wurden schon die Humussäuren, die die Transpiration hemmen, und deren größerer Gehalt im Boden Pflanzen, die stark transpirieren müssen, vom Daseinskampf ausschließen. — Physikalisch und chemisch nachteilig wirkt der sog. Ortstein. Ferner findet sich im Walde nicht gerade selten neben den Humussäuren schwefelsaures Eisenoxydul, das gleichfalls die Fruchtbarkeit ausschließt. Die Anwendung von Kalk, Mergel in genügender Menge, die der Kalisalze und der Asche empfiehlt sich zur Verbesserung derartiger Böden. — (L. Grandeau, Handbuch für agrikulturchemische Analysen. 1884. S. 139.)

Sehr verbreitet ist auch das Schwefeleisen in gewissen Tonböden, die so lange unfruchtbar bleiben, bis durch die Einwirkung der Luft sämtliches Schwefeleisen oxydiert ist. Enthalten unsere Moore diese Eisenverbindung, so sind Moorkulturen bekanntlich aussichtslos. Durch Rabattenkultur kann man sie, allerdings meistens nur mit so hohen Kosten, daß die Anlage unrentabel bleibt, zum Erlenanbau tauglich machen; man wird aber die Rabatten immer erst längere Zeit unbebaut liegen lassen müssen.

Daß in Brüchern vorhandene größere Mengen von verwesenden Pflanzenresten durch ihren Sauerstoffverbrauch gleichfalls die Ursache von Unfruchtbarkeit werden können, ist bereits erwähnt worden.

Abgesehen von diesen Fällen hängt die Fruchtbarkeit eines Bodens von seinem größeren oder geringeren Gehalt an aufnehmbaren Pflanzennährstoffen ab. Mit der Aufnahme dieser Stoffe im Wege der Osmose durch die Wurzeln haben wir uns schon beschäftigt und wissen, daß die Nährsalze in Wasser gelöst, und daß das Protoplasma für sie permeabel sein muß.

Welche Mineralstoffe in einer Pflanze enthalten sind, stellt man durch Aschenanalyse fest und erfährt durch sie, daß längst nicht alle Stoffe, die im Boden und Wasser vorhanden sind, von der Pflanze aufgenommen werden; ein geeignetes Mittel, um festzustellen, wieviel die Pflanzen von den einzelnen Stoffen brauchen, ist sie nicht. — Einen schlagenden Beweis hierfür bietet uns die Mistel, deren Reinasche Grandeau und Bouton (nach Jost S. 97) untersucht haben. Sie nahmen zu diesem Zwecke eine von einer Pappel, einer Robinie und einer Tanne stammende Pflanze und fanden unter anderem folgende Zahlen, die ich abgerundet wiedergebe:

In 100 Teilen Reinasche waren vorhanden bei:

	Kali als K_2O	Kalk als CaO	Phosphor $= P_2O_5$	Mangnesium u. Mangan als MgO u. Mn_2O_3	Eisen als Fe_2O_3
Pappelmistel . .	16,1	32,6	**26,3**	9,2	**5,4**
Robiniamistel .	15,9	**45,4**	12,0	6,7	2,2
Tannenmistel .	**30,8**	27,1	13,1	**22,9**	1,5

Aus diesen Zahlen ergibt sich, wenn man sie mit den der Wirtspflanzen vergleicht, daß für die Nährstoffaufnahme des Parasiten der Aschengehalt des Wirtes nicht bestimmend gewesen ist. So weist die Pappelmistel 26,3 % Phosphorsäure in ihrer Asche auf, während die Pappel nur 4,7 % enthielt, die Tannenmistel aber, deren Wirt = 7,9 % in der Reinasche hatte, nur = 13,1 %.

Wenn man annimmt, daß ein und dieselbe Pflanzenart mit gleichen Nährstoffmengen wird auskommen können, dann muß man aus diesem verschiedenen Aschengehalt schließen, daß die Pflanzen bei vorhandenem Nährstoffüberfluß mehr aufnehmen, als sie in Wirklichkeit brauchen, und auch Stoffe, die sie nicht brauchen. Letzteres ist erwiesen, denn von den elf Elementen: Chlor, Schwefel, Phosphor, Silizium, Kalium, Natrium, Kalzium, Eisen, Aluminium, Magnesium und Mangan, die man mit großer Regelmäßigkeit in den Aschen aller Pflanzen gefunden hat, sind nur sechs: Kalium, Kalzium, Magnesium, Schwefel, Phosphor und Eisen so unentbehrlich für das Pflanzenleben, daß, wenn auch nur eins fehlt, schwere Störungen in der Produktion von Trockensubstanz eintreten.

79. Während es möglich ist, durch Kulturen in Wasser, dem Nährsalze beigefügt werden, oder in sterilem Sande, der mit solchem Wasser begossen worden ist, qualitativ festzustellen, welche Stoffe die Pflanze unbedingt braucht und in welchen Verbindungen, steht es bisher nur für wenige fest, welche Rolle sie im Pflanzenleben spielen.

Als Element kann die Pflanze nur den Sauerstoff verwenden, den Kohlenstoff nur und den Stickstoff möglichst in hochoxydierter Form. Diese Elemente und Wasserstoff, die nicht zu den Aschenbestandteilen gerechnet werden, weil sie in der Reinasche nicht enthalten sind, sind mit Schwefel und Phosphor am Aufbau der Eiweißstoffe beteiligt, und zwar der Schwefel allgemein, Phosphor

bei einigen. Beide Stoffe sind auch nur in hochoxydierter Form als Sulfate und Phosphate assimilierbar.

Kalium ist absolut unentbehrlich, und es ist gleichgültig, an welche Säure es gebunden ist. Daß es in geringem Grade durch Natrium ersetzt werden kann, wurde bereits erwähnt (S. 64). Sollte sich die Liesegangsche Hypothese, daß die Zerlegung der Kohlensäure im grünen Blatt durch die Reduktion des oxalsauren Eisenoxydkaliums eingeleitet und unterhalten wird (S. 63 ff.), bewahrheiten, dann wäre wenigstens eine Funktion des Kalis im Pflanzenleben erklärt. Wahrscheinlich ist es aber, daß es auch noch am Aufbau der wichtigsten im Protoplasma vorkommenden Verbindungen beteiligt ist. — Eine ähnliche Rolle wird man dem Magnesium zuweisen müssen.

Die Bedeutung des Eisens liegt nach Liesegang (S. 63) in seiner Lichtempfindlichkeit. Da es aber auch selbst von chlorophyllfreien Pilzen nicht entbehrt werden kann, so wird es wohl auch noch beim Aufbau des Protoplasmas beteiligt sein.

Unter den unentbehrlichsten Mineralstoffen wurde auch das Kalzium aufgeführt. Seine wahrscheinliche Bedeutung als Neutralisationsmittel wurde in dieser Schrift schon besprochen (S. 112); ein Pflanzennährstoff ist der Kalk jedenfalls nicht, viele niedere Pflanzen können sogar ganz ohne ihn auskommen. — Damit soll aber keineswegs der Wert des Kalkes im forstlichen Betriebe herabgesetzt werden; zur Kompostbereitung und zum Neutralisieren saurer Böden wird er uns immer unentbehrlich bleiben und auch als Bestandteil unserer Waldböden so wertvoll sein, daß man Bodenarten, deren Kalkgehalt bestimmte Grenzen nicht überschreitet, zu den besseren rechnen wird. — Anders ist es allerdings, wenn der Boden zu reich an Kalk, besonders an kohlensaurem ist. Fliche und Grandeau (nach Jost S. 121) analysierten die Asche von Bäumen, die auf Normalboden gewachsen waren, und verglichen sie mit der von anderen Exemplaren, die auf kalkreichem Boden eine kümmerliche Existenz geführt hatten, wobei sich herausstellte, daß bei ersteren die Asche 40—45 %, bei letzteren 56—75 % Kalk enthielt, während gleichzeitig der Gehalt an Kali bei letzteren nur 4—6 % gegen 16—22 % bei ersteren betrug. — Es wäre denkbar, daß die Verminderung der Kalizufuhr eine Folge davon wäre, daß der Kalk die sauren Wurzelausscheidungen so rasch neutralisiert, daß deren aufschließende Wirkung auf die schwer löslichen Gesteine aufgehoben wird.

Der Mangel an Kali auf Kalkböden ist mit einem solchen an Magnesium und Eisen verbunden gewesen, und infolge des Eisenmangels wurden die Pflanzen chlorotisch. Diese Chlorose soll durch Begießen mit Eisenlösung heilbar sein, und es würde sich vielleicht empfehlen, bei schwierigen Aufforstungen von Kalkhängen Eisensalze als Düngemittel zu verwenden. —

Als besonders kalkfeindlich ist von den bei uns im Walde vorkommenden höheren Pflanzen die Besenpfrieme (Sarothamnus scoparius) zu nennen, die gewöhnlich für kalkliebend gehalten wird. Man hat vielfach versucht, sie für das Wild anzubauen und sie, weil sie eine Papilionacee ist, auf möglichst kalkreichen Boden gebracht oder ihr gar mit Mergel zu helfen gesucht. Wenn da der Erfolg ausgeblieben ist, darf man sich nicht wundern.

80. Ehe wir uns noch mit den weiteren Mineralstoffen beschäftigen, die im Boden in großen Mengen vorhanden sind, ohne daß sie für die Pflanzenernährung eine Bedeutung haben, wollen wir noch auf eine auffallende Erscheinung kurz eingehen, die auch im forstlichen Betriebe beobachtet worden ist.

Bekanntlich werden die jungen Kiefern um die Pilzschütte zu verhüten, mit einer Kupfer-, Kalk- oder Sodalösung bespritzt. Dieses Spritzen mit der sog. Bordeaubrühe hat sich, wie der Name der Mischung besagt, in Weinbaugegenden ausgebildet, und es hat sich schon dort gezeigt, daß bei den bespritzten Pflanzen, — Wein- und Kartoffelpflanzen — nicht nur eine Pilzinfektion verhütet wurde, sondern daß die bespritzten Pflanzen auch sonst besser gediehen als die nicht bespritzten, auch wenn letztere von der Pilzinfektion verschont blieben. Sie zeichneten sich durch lebhafteres Grün, also reichlichere Chlorophyllbildung und dementsprechende gesteigerte Produktion organischer Substanz aus. Wie im landwirtschaftlichen Betriebe bei Reben und Kartoffeln, so ist auch im forstlichen bei den bespritzten Kiefern eine solche Wachstumssteigerung beobachtet worden, und man hat versucht durch das Experiment die Frage zu lösen, welcher Stoff der Brühe förderlich wirken könnte. — Zuerst dachte man an Kalk. Bespritzen mit Kalkmilch blieb aber ergebnislos. Man suchte darauf festzustellen, ob die Schwefelsäure der wirksame Bestandteil sein könnte, und spritzte statt mit Kupfer- mit Eisenvitriollösung. Von dieser Mischung wirkte weder die Schwefelsäure noch das Eisen günstig. Letzteres ist auch nicht zu verwundern, denn das

Eisen wird von den Pflanzen nur in hochoxydierter Form aufgenommen. Eisenvitriol ist aber eine Oxydulverbindung des Eisens.

Aderhold (nach Jost S. 108) sucht gleichfalls die Wachstumsförderung auf den günstigen Einfluß des Eisens zurückzuführen, das als Verunreinigung im Kupfervitriol enthalten ist. Da es aber hier gleichfalls als Oxydulsalz vorhanden ist, so muß diese Ansicht auch bezweifelt werden. — Wahrscheinlich wird also die Wachstumsförderung einer Reizwirkung des Kupfers zuzuschreiben sein, zumal viele andere Stoffe, wie schwefelsaures Zink, Schwefelkohlenstoff u. a. m., in äußerst schwacher Konzentration ähnlich wirken.

Nach Jost (S. 109) liegt übrigens aus neuerer Zeit eine Zusammenfassung nebst neuen Experimenten über die Kupferfrage vor (von Bain 1902: Bullet. Agric. Exp. Station Univers. Tennesse 15, No 2), die mir allerdings nicht zugänglich war.

81. Außer den sechs Elementen, die für das Leben der meisten Pflanzen unentbehrlich sind, finden sich solche im Boden in größerer oder geringerer Menge, die, obwohl sie bei einzelnen Pflanzen gewisse wichtige Funktionen auszuüben haben, als Pflanzennährstoffe nicht bezeichnet werden können.

Zwei dieser Elemente interessieren uns Forstleute besonders, weil sie die Hauptbestandteile des Bodens überhaupt sind, nämlich das Silizium und das Aluminium. — Ersteres bildet als Kieselsäureanhydrit, fälschlich allgemein Kieselsäure genannt, den Quarz, Feuerstein, Achat, Opal und viele anderen Gesteine und ist der Hauptbestandteil der Sandböden, während das Aluminiumsilikat den Ton bildet und außerdem in den Feldspaten, dem Glimmer und vielen anderen Gesteinen enthalten ist.

Während nun das Aluminium in den meisten Pflanzen nur in minimalen Spuren vorhanden ist und sich nur bei einigen Lykopodiumarten in Mengen von 22—39% in der Asche findet, ist das Silizium in der Asche um so verbreiteter, und man wird annehmen können, daß es den Pflanzen, die es besonders stark aufnehmen, in biologischer Hinsicht von Nutzen sein wird. —

Trotzdem das Aluminiumsilikat der reinen Tonböden unlöslich und für unsere Waldbäume unassimilierbar ist, gelten doch die Tonböden oder die durch Eisenoxydhydrat gelb gefärbten Lehmböden in forstlichen Kreisen für besser als die Sandböden.

Vom rein chemischen Standpunkte aus müßten reine Ton-

böden ebenso unfruchtbar sein wie reine Quarzböden. Wenn aber doch zwischen beiden ein Unterschied besteht, so liegt dies in ihrem verschiedenen physikalischen Verhalten. Übrigens wird der Gehalt an Tonerde auch bei reinen Tonböden meist überschätzt, und auch bei Analysen wird nicht selten fehlerhaft verfahren.

Nach Grandeau (Handbuch für agrikulturchemische Analysen, S. 105) findet man in fruchtbaren, in Kultur befindlichen Böden zwar häufig 4—5 %, auch 10 %, selten 15, noch seltener 20, aber nie mehr als 30 % Ton. 5—10 % im Gemisch mit organischen Substanzen sollen hinreichen, einer Erde genügenden Zusammenhang zu geben, um sie als wahren Letten erscheinen zu lassen. — Bei den üblichen Bodenuntersuchungen nach der Schlämmmethode erhält man stets zu hohe Zahlen für den Tongehalt, und die von verschiedenen Autoren angegebenen Tonmengen von 40–60 % sind irrig, weil feiner Sand und fein verteilter kohlensaurer Kalk irrtümlich mit zur Tonerde gerechnet werden. Den wahren Tongehalt erfährt man nur durch eine physikalisch-chemische Analyse (wie die Methode von Schloessing: Grandeau S. 104 u. 105).

Wir haben schon erwähnt, daß die Wasserkapazität des Tonbodens, des feinen und des groben Sandbodens sich verhält wie 53 : 30 : 10. Hierzu kommt noch die verschiedene Absorptionsfähigkeit der Böden für Gase und in Wasser gelöste Nährstoffe.

Alle festen Körper besitzen die Eigenschaft, die sie umgebenden Gase an ihrer Oberfläche zu verdichten, und zwar hängt die Größe dieser Absorption von der Oberfläche der Körper ab. Sie ist im Tonboden größer als im Sandboden, weil die Tonpartikelchen kleiner sind. — Wir haben gesehen, daß dies tatsächlich zutrifft, und daß sich in bezug auf ihren Gehalt an Ammoniakstickstoff der unkultivierte Lehmboden zum Sandboden wie 22,2 : 2,2 verhält (cf. S. 150). Es folgt hieraus aber auch, daß eine Vergrößerung der Oberfläche der Bodenteilchen, wie sie durch Bodenlockerung herbeigeführt wird, die Absorptionsfähigkeit für Gase erhöhen muß; denn im dicht gelagerten Moorboden betrug der Gehalt an Ammoniak nur 1,6. — Was für Ammoniak gilt, trifft natürlich deren Absorptionsverhältnissen entsprechend auch für Kohlendioxyd und Stauerstoff zu.

Wenn nun der Ammoniak, wie wir wissen, im Boden durch Nitrit- und Nitratbakterien in Salpetersäure verwandelt wird, so kann es nicht gleichgültig sein, ob dessen Absorptionsfähigkeit groß oder klein ist, und die geringe Fruchtbarkeit vieler Tonböden wird,

zum Teil wenigstens, in ihrer durch die dichte Lagerung verursachten geringen Absorptionsfähigkeit für Ammoniak zu suchen sein.

Eine weitere für die Vegetation der Pflanzen wichtige Eigenschaft verschiedener Bodenarten besteht darin, daß sie die Fähigkeit haben, manche Stoffe aus wäßrigen Lösungen an sich zu reißen. Man nennt diese Erscheinung Bodenabsorption.

Von Pflanzennährstoffen werden Kalium, Kalzium, Magnesium, Phosphorsäure und im Wasser gelöster Ammoniak absorbiert, dagegen werden Salpeter-, Schwefel- und Salzsäure nicht absorbiert. Wichtig ist ferner, daß diese Absorption nur im Kalk-, Ton- und Humusboden vorkommt, dem Quarzsand aber vollständig fehlt. Hieraus werden wir für die Praxis folgende Schlüsse ziehen müssen: Auf Sandböden, die sehr reich an Quarzkörnern sind, wird jede künstliche Düngung dann nutzlos sein, wenn der Boden keinen Humusgehalt hat. Deshalb wird bei Aufforstungen die Anwendung von künstlichem Dünger nur dann einen Zweck haben können, wenn der Boden nicht humusfrei ist. Auch auf Kahlschlagkulturen wird man den Humus von der Pflanzstelle schon deshalb nicht entfernen dürfen, weil man dadurch das Auswaschen der im Boden gelösten Nährsalze befördert.

Salpetersaure Salze, wie Chilisalpeter, darf man nur in so kleinen Mengen anwenden, als sie von den Pflanzen in kurzer Zeit assimiliert werden können. Neben starker Kompostdüngung empfiehlt sich ihre Anwendung nicht, weil die Salpetersäure, wie wir wissen, von den Gärungspilzen des Humus denitrifiziert wird.

82. So unumgänglich notwendig das Kalium für die Pflanzen auch ist, so unangenehm kann es im Boden werden. Vertragen wird es überhaupt nur in geringer Konzentration, weil es in stärkeren Lösungen durch seine osmotischen Wirkungen hemmend wirken würde. — Ist es also schon deshalb geboten, das Kali nicht in zu großen Mengen als Dünger anzuwenden, so tritt noch ein weiterer wichtiger Grund hinzu, der anscheinend in der Landwirtschaft gar nicht oder doch fast gar nicht beachtet wird. Das Kalium verdrängt nämlich ausnahmslos alle Metalle aus ihren Salzen. — Beim Eisen wird dies in der Regel nicht nachteilig werden, da die Pflanzen von ihm nicht viel brauchen, es auch in der Regel als Hydroxyd vorhanden und als solches nicht verdrängbar ist. Dagegen verdrängt das Kalium aus ihren Nitraten, Sulfaten und Chloriden das Ammonium.

Magnesium, Natrium und Kalzium. Es verdrängt aber auch von den eben genannten Metallen jedes in dieser Reihe vorstehende die nachstehenden. Wenn man also ein Düngesalz verwendet, das wie der Kainit Kalium und Natrium, oder der Karnallit außer Kalium noch reichlich Magnesium enthält, so verdrängt man durch beide das Kalzium in zweifacher Weise, das dann in Lösung gehen muß und leicht fortgeschwemmt werden kann, weil es in der Reihe an letzter Stelle steht und kein weiteres Metall herausdrängen kann. — Wenn also von vielen Landwirten behauptet wird, daß Kali den Boden kalkarm macht, so ist dies durchaus zutreffend. — Auf armen Sandböden, die an sich schon kalkarm sind, wird deshalb Kalidüngung nur mit der größten Vorsicht anzuwenden sein, jedenfalls nicht ohne Beigabe von Kalk, etwa in der Form von Thomasmehl, und nie zu reichlich.

Daß man durch Kalidüngung auch auf armen Böden vorübergehend Erfolge erzielen kann, soll nicht bestritten werden; denn man macht ja durch sie das ganze Nährstoffkapital mobil. An solchen Augenblickserfolgen kann uns aber nichts gelegen sein; maßgebend für unsere Wirtschaft muß immer die Nachhaltigkeit bleiben.

Es leuchtet ein, daß es um unsere Waldbäume schlecht bestellt sein würde, wenn bei der Zersetzung der Gesteine regelmäßig ein Austausch der Metalle in der vorhin angegebenen Reihenfolge stattfände. — Zum Glück ist dies nicht ausnahmslos der Fall; die Verdrängung findet meist nur statt bei Zugabe der genannten Alkalisalze zum Erdboden.

Im Verlauf der normalen Zersetzung der Gesteine, der sog. Verwitterung, bilden sich Doppelsilikate (von Cronstedt „Zeolithe" genannt, weil sie beim Erhitzen vor dem Lötrohr aufschäumen), die im Gegensatz zu den einfachen Silikaten, die meist von der gewöhnlichen Kieselsäure (H_2SiO_3) abstammen, Abkömmlinge der sog. Polykieselsäuren (z. B. $H_2Si_2O_5$, $H_4Si_3O_8$ usw.) sind und neben der Tonerde (Al_2O_3) noch eine akzessorische Base (Na, Ca, Mn, Ka u. a. m.) enthalten. Sie sind Umsetzungsprodukte der Feldspate sowie der feldspatähnlichen Mineralien.

Bei diesen Doppelsilikaten ist die zweite Base in umgekehrter Reihenfolge austauschbar, so daß z. B. Kalium von anderen Metallen und auch Ammonium verdrängt werden kann. — Ähnlich günstig wie die Doppelsilikate, aber schwächer in ihrer Wirkung, verhalten sich die Humate, und man kann durch Zufuhr geeigneter Stoffe, wie Kalk, Stickstoffverbindungen, vor allen Dingen aber

von Humussubstanzen die Bildung und Erneuerung der Doppelsilikate fördern bzw. die unerwünschte Verdrängung von Pflanzennährstoffen verhindern.

Im forstlichen Betriebe werden wir also unser Heil nicht in der künstlichen Düngung zu suchen haben: für uns wird der richtig behandelte und angewendete Humus zu allen Zeiten der wichtigste Dungstoff sein und bleiben.

Während die Alkalien und Erdalkalien als Salze in Silikaten, Doppelsilikaten und Humaten einem Austausch unterworfen werden, werden ihre Oxyde und Oxydhydrate einfach ohne Austausch absorbiert. Von Silikaten ist in dieser Hinsicht allerdings nur die ganz reine kieselsaure Tonerde wirksam.

Da die Phosphorsäure sowohl als Salz als auch im freien Zustande von bestimmten Böden absorbiert wird und auch in großen Mengen keinerlei Störung verursacht, so wäre eine reichliche Düngung mit ihr unbedenklich; das wird sich aber in der Regel schon durch den hohen Preis der Phosphate verbieten.

83. Wenn wir nun auch ziemlich genau darüber orientiert sind, welche Stoffe den Pflanzen zum Leben unentbehrlich sind, so wissen wir doch nicht, in welchem Verhältnis diese Stoffe im Boden enthalten sein müssen. — Diese Feststellung wäre leichter, wenn wir genau wüßten, welche Funktionen den einzelnen Stoffen in der Pflanze zukommen. — Die Verhältnisse werden dadurch noch komplizierter, daß die gesamte Größe der Produktion an organischer Substanz abhängig ist von dem Nährstoff, der im Minimum vorhanden ist (Gesetz des Minimums: Ad. Mayer 1902). Es können also alle Nährstoffe im Überschuß vorhanden sein, wenn von einem nur etwas fehlt, so entwickelt sich die ganze Pflanze nicht weiter, als dieser Nährstoff reicht.

Wie wenig dieses Gesetz des Minimums in forstlichen Kreisen bekannt ist, beweisen die vielen Veröffentlichungen über Düngeversuche. Wieviel Geld könnte gespart werden, wenn die Erkenntnis sich auch hier Bahn gebrochen hätte, daß die Einseitigkeit hier noch größere Nachteile bringt, als sie dies sonst gewöhnlich tut.

In der Landwirtschaft, in der die Nährstoffzufuhr zum Boden regelmäßig stattfindet, sucht man das Nährstoffbedürfnis der Pflanzen verschieden zu ermitteln. Man untersucht den Boden oder die Pflanzen chemisch. Diese Analysen sind aber zu mühsam und kostspielig, um im großen Betriebe regelmäßige Anwendung

zu finden; sie haben auch nur einen vorübergehenden Wert, da ein einziger Fruchtbau die chemische Zusammensetzung des Bodens erheblich ändert.

Durch mehr oder weniger planvolle Versuche hat man nun festgestellt, daß die Beigabe von bestimmten Nährstoffen gewisse Pflanzen fördert, und so wird denn meist nach Universalrezepten gedüngt. Es unterliegt keinem Zweifel, daß bei diesem Verfahren nicht nur viel Geld unnütz ausgegeben wird, sondern daß im Boden, in der Pflanze und im Tierkörper für den die Pflanze bestimmt ist, erhebliche Störungen herbeigeführt werden können. — Im ersten Teile dieser Schrift (S. 51 ff.) habe ich den Versuch gemacht, ein Verfahren anzugeben, das es ermöglicht, bei der lebenden Pflanze aus der Größe ihrer Lichtabsorption Schlüsse auf ihre Produktion an organischer Substanz zu ziehen. Vielleicht wird es durch dies Verfahren auch möglich zu bestimmen, welche Nährstoffe einer Pflanze auf einem bestimmten Boden fehlen, und wie weit ihr eine Nährstoffzufuhr überhaupt nützt.

Nehmen wir z. B. an, einer Pflanze stünden alle Nährstoffe reichlich zur Verfügung, es fehle ihr aber an Kali, dann wird sie auf Phosphorsäure, Magnesiumsalze usw. nicht reagieren; durch Kalizufuhr wird sie aber ihren Absorptionsstreifen so lange verbreitern, bis sie von ihm genug hat. In einem anderen Falle wird sie vielleicht auf kein Nährsalz reagieren; dann liegt die mangelnde Fruchtbarkeit des Bodens eben nicht am Nährstoffmangel, sondern sie hat andere Ursachen. Vielleicht ist der Boden zu trocken, oder er enthält schädliche Substanzen.

Es ist gleichfalls in dieser Schrift ausgeführt worden (S. 79 u. 157), daß eine reichliche vegetative Ernährung der Ausbildung zahlreicher Fortpflanzungsorgane zwar vorausgegangen sein muß, daß aber die Fortdauer des vegetativen Wachstums das Samentragen beeinträchtigt. Das ist in der Landwirtschaft längst bekannt: überdüngte Getreidefelder liefern wenig Körner. Auch in dieser Hinsicht wird die Spektralanalyse vielleicht helfen können, die richtige Grenze zu bestimmen. —

Wir sind jetzt am Ende unserer Betrachtungen. Vielen werden sie kaum etwas Neues gebracht haben; wenn sie aber dazu beitragen sollten, die Sprache der Bäume besser zu verstehen, wenn wir sie fragen, wie sie erzogen sein wollen, dann wäre der Zweck dieser Arbeit erfüllt. —

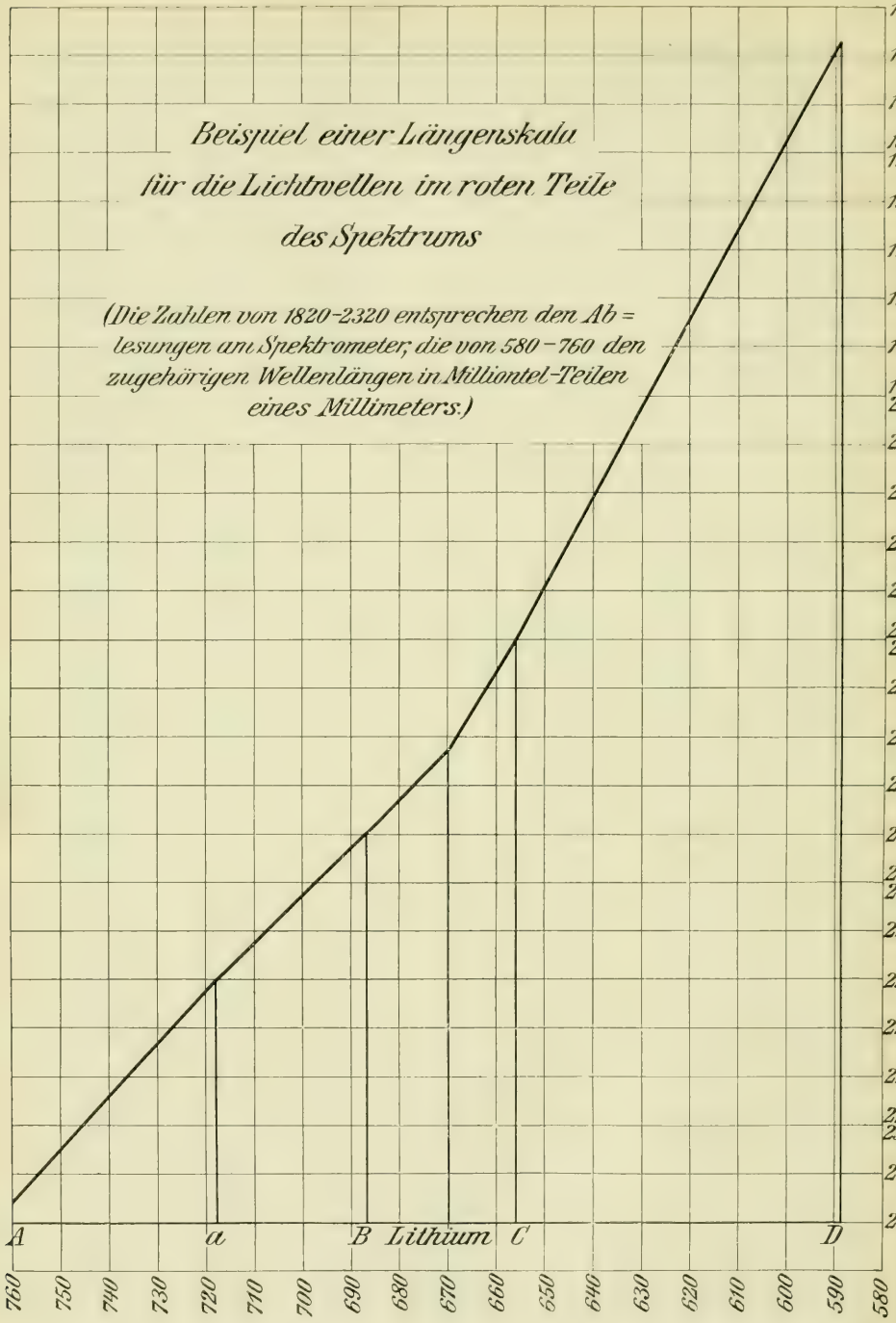
Altenburg,
Pierersche Hofbuchdruckerei
Stephan Geibel & Co.

Helligkeitswerte für das Polarisationsphotometer.

Die Helligkeit beträgt bei:

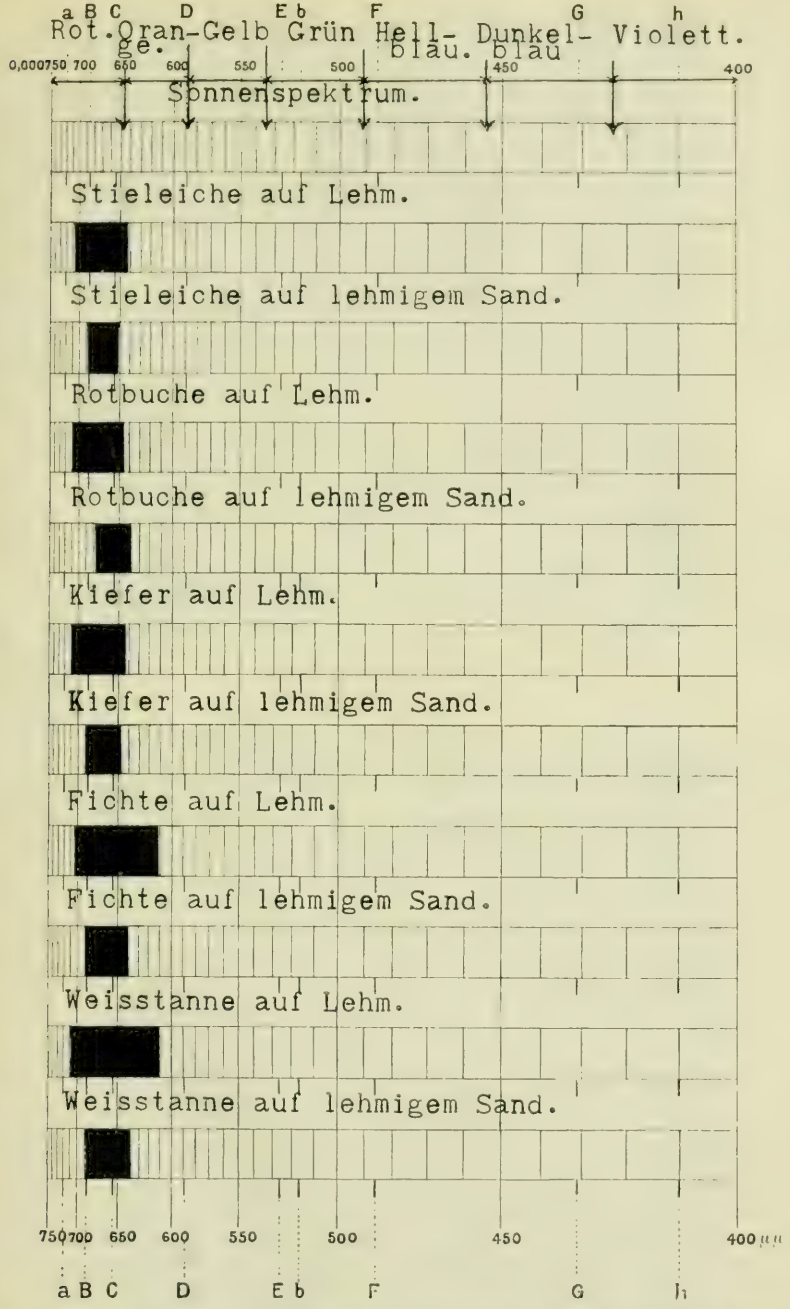
Graden	Minuten					
	0	10	20	30	40	50
90	100,0000	—	—	—	—	-
89	99,9600	99,9800	99,9800	100,0000	100,0000	100,0000
88	99,8800	99,9000	99,9200	99,9400	99,9400	99,9600
87	99,7202	99,7601	99,7801	99,8001	99,8401	99,8600
86	99,5206	99,5605	99,6004	99,6204	99,6603	99,7002
85	99,2414	99,2813	99,3411	99,3810	99,4208	99,4807
84	98,9030	98,9627	99,0224	99,0821	99,1418	99,1817
83	98,5056	98,5850	98,6446	98,7241	98,7837	98,8434
82	98,0694	98,1486	98,2279	98,2874	98,3667	98,4461
81	97,5551	97,6342	97,7330	97,8121	97,8912	97,9902
80	96,9831	97,0816	97,1802	97,2788	97,3774	97,4564
79	96,3539	96,4717	96,5699	96,6879	96,7862	96,8846
78	95,6680	95,7854	95,9028	96,0204	96,1380	96,2557
77	94,9455	95,0625	95,1990	95,3162	95,4334	95,5506
76	94,1482	94,2841	94,4201	94,5562	94,6729	94,8092
75	93,2963	93,4509	93,5863	93,7218	93,8767	94,0124
74	92,4098	92,5636	92,6984	92,8525	93,0067	93,1611
73	91,4510	91,6232	91,7764	91,9297	92,0832	92,2560
72	90,4591	90,6304	90,7828	90,9544	91,1261	91,2980
71	89,3970	89,5862	89,7567	89,9273	90,0981	90,2880
70	88,3036	88,4916	88,6799	88,8495	89,0381	89,2269
69	87,1609	87,3477	87,5347	87,7407	87,9281	88,1158
68	85,9700	86,1741	86,3598	86,5644	86,7692	86,9556
67	84,7320	84,9347	85,1560	85,3591	85,5625	85,7661
66	83,4482	83,6676	83,8873	84,1072	84,3091	84,5296
65	82,1380	82,3556	82,5917	82,8100	83,0285	83,2474
64	80,7841	81,0180	81,2342	81,4687	81,6854	81,9206
63	79,3881	79,6199	79,8521	80,0846	80,3174	80,5506
62	77,9512	78,1986	78,4464	78,6769	78,9255	79,1566
61	76,4925	76,7376	76,9831	77,2289	77,4752	77,7219
60	74,9956	75,2556	75,4987	75,7596	76,0035	76,2478
59	73,4792	73,7366	73,9772	74,2355	74,4942	74,7533
58	71,9104	72,1820	72,4371	72,6927	72,9658	73,2222
57	70,3418	70,6104	70,8627	71,1324	71,4025	71,6562
56	68,7241	69,0062	69,2723	69,5389	69,8060	70,0736
55	67,1089	67,3713	67,6506	67,9141	68,1946	68,4591
54	65,4481	65,7234	65,9994	66,2759	66,5530	66,8306
53	63,7762	64,0640	64,3364	64,6255	64,8991	65,1733
52	62,0944	62,3784	62,6631	62,9484	63,2184	63,5050
51	60,3884	60,6841	60,9649	61,2463	61,5283	61,8110
50	58,6756	58,9670	59,2592	59,5367	59,8302	60,1090
49	56,9572	57,2444	57,5322	57,8208	58,1101	58,4002
48	55,2198	55,5174	55,8009	56,1001	56,3851	56,6708
47	53,4946	53,7729	54,0666	54,3611	54,6417	54,9377
46	51,7392	52,0418	52,3308	52,6205	52,9111	53,2024
45	49,9990	50,2965	50,5805	50,8797	51,1654	51,4519

Verlag von Paul Parey in Berlin S.W.



Anm.: Die weitere Teilung der Quadrate in je 100 Teile ist aus technischen Gründen auf dieser verkleinerten Tafel weggelassen worden.

Verlag von Paul Parey in Berlin S.W.



Graphische Darstellung einiger Absorptionsspektra von Baumblättern, die auf verschiedenen Böden gewachsen sind.

(Die Skala ist von Ångstroem cf. C. Leiss, Optische Instrumente S. 222.)

Verlag von Paul Parey in Berlin S.W

Fig. 1a. Senkrechter Schnitt durch das Sonnenblatt einer Stieleiche. (Vergrößerung = 200:1.)

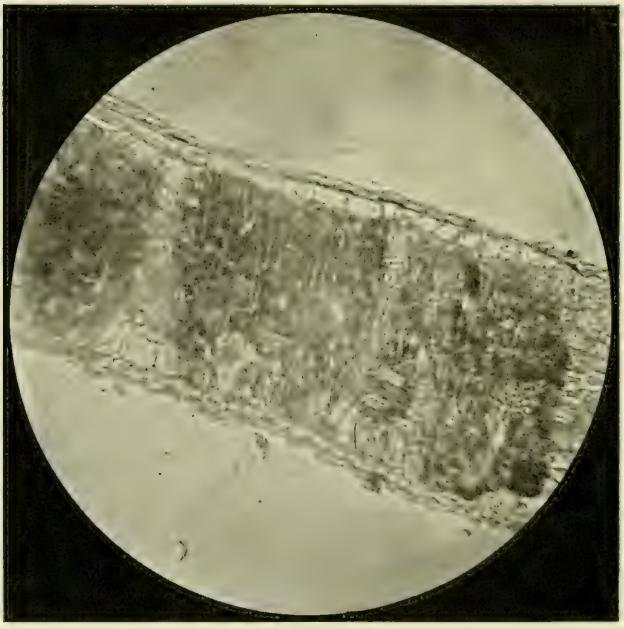


Fig. 1b. Dasselbe Blatt wie Fig. 1a. (Vergrößerung = 100:1.)

Phot. M. Wagner.

Verlag von Paul Parey in Berlin S.W.

Fig. 2. Senkrechter Schnitt durch ein Blatt einer Stieleiche, das in stärkerem zerstreuten Licht gewachsen ist. (Vergrößerung = 100:1.)

Fig. 3. Senkrechter Schnitt durch das Blatt einer Stieleiche, das im Druck gewachsen ist. (Vergrößerung = 100:1.)

Phot. M. Wagner.

Verlag von Paul Parey in Berlin S.W.

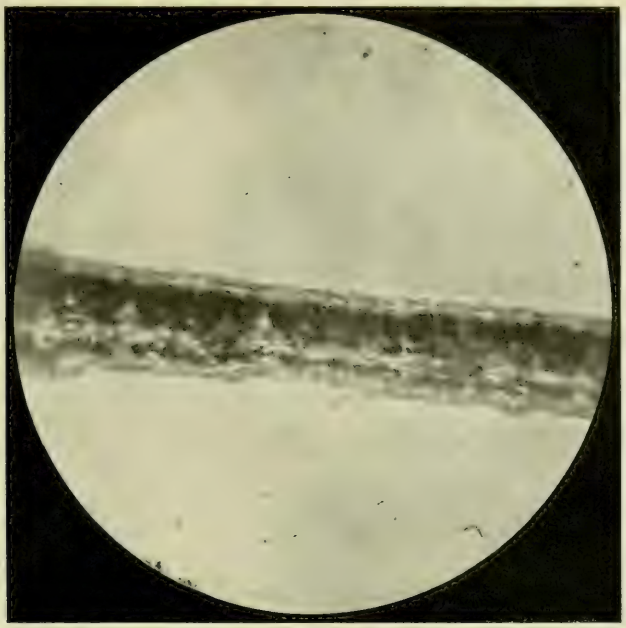


Fig. 4. Senkrechter Schnitt durch das Blatt eines Wasserreises einer Stieleiche. (Vergrößerung = 100:1.)

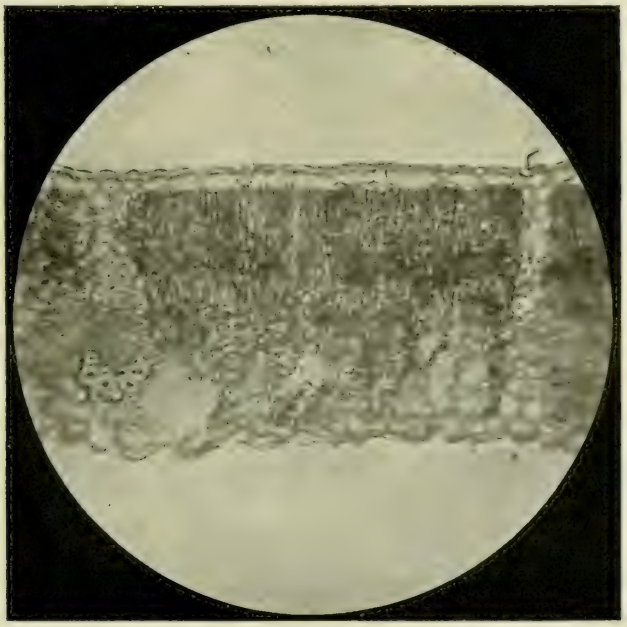


Fig. 5. Senkrechter Schnitt durch das Blatt einer Stieleiche, die im Druck erwachsen war, nachher aber 3 Jahre lang in der Sonne gestanden hatte. (Vergrößerung = 100:1).

Phot. M. Wagner.

Verlag von Paul Parey in Berlin S.W.

Verlag von Paul Parey in Berlin SW., Hedemannstraße 10.

Forstwissenschaftliches Centralblatt.

Zugleich Publikationsorgan
für die forstliche Abteilung der Kgl. Bayerischen
forstlichen Versuchsanstalt.

Unter Mitwirkung
zahlreicher Fachmänner aus Wissenschaft und Praxis

herausgegeben von

Dr. Hermann von Fürst,
k. b. Oberforstrat und Direktor der Forstlichen Hochschule Aschaffenburg.

Neunundzwanzigster Jahrgang.
(Der ganzen Reihe LI. Jahrgang.)

Preis des Jahrgangs von zwölf Heften 14 Mark.

Illustriertes

Forst- und Jagd-Lexikon.

Zweite, neubearbeitete Auflage.

Unter Mitwirkung von

Prof. Dr. **Bühler**-Tübingen, Prof. Dr. **Conrad**-Aschaffenburg, Forstrat **Eßlinger**-Speyer, Forstmeister Freiherr v. **Nordenflycht**-Lödderitz, Oberforstmeister **Runnebaum**-Stade, Prof. Dr. **Spangenberg**-Aschaffenburg, Prof. Dr. **Weber**-München, Prof. Dr. **Wilhelm**-Wien

herausgegeben von

Dr. Hermann von Fürst,
k. b. Oberforstrat und Direktor der Königl. forstlichen Hochschule Aschaffenburg.

Mit 860 Textabbildungen.

In Halbleder gebunden, Preis 23 M.

Zu beziehen durch jede Buchhandlung.

QK711 .W32 gen
Wagner, Max/Pflanzenphysiologische Studi
3 5185 00030 3220